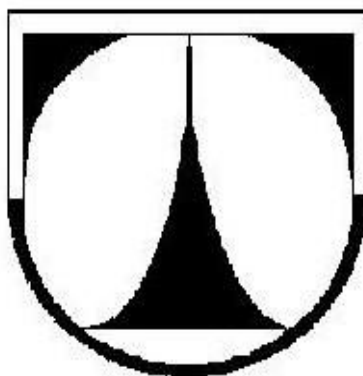


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PAVEL HRDÝ

LIBEREC 2013

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Technologické podmínky výroby šroubů a životnost nástrojů
ve společnosti Kamax s.r.o.**

**Technological conditions of production of screws and life of tools
in the company Kamax s.r.o.**

Pavel Hrdý

KSP – TP – B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Václav Šantin (Kamax s.r.o.)

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 45

Počet tabulek: 3

Počet příloh: 5

Počet obrázků: 25

Počet jiných příloh: 2 CD

Datum: 4. 1. 2013



Katedra strojírenské technologie

Studijní rok : 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Pavel H R D Ý

Studijní program

B2341 Strojírenství

Studijní obor

3911R018 Materiály a technologie

Zaměření

Tváření kovů a plastů

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Technologické podmínky výroby šroubů a životnost nástrojů ve společnosti Kamax s. r. o.

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznámení se s problematikou výroby spojovacích prvků ve společnosti Kamax s. r. o.
2. Základní charakteristika technologií tváření s ohledem na způsoby výroby spojovacích součástí.
3. Posouzení jednotlivých technologických podmínek výroby s ohledem na možné zvýšení životnosti nástrojů a experimentální určení vlivu použitého materiálu a technologie výroby na vlastnosti vyráběného šroubu s označením KX 1691.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.
5. Závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

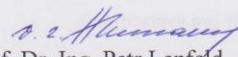
Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

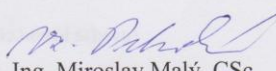
- [1] BRJUCHANOV, A.N. *Zápusťkové kování Konstrukce a výpočet nástrojů. Díl 2 Kování na klikových lisech a vodorovných ko.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956.
- [2] EN ISO 6892-1: Kovové materiály. Zkoušení tahem. Část 1. Zkoušení za okolní teploty, 2010.
- [3] VELES, P. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov.* Bratislava: Alfa, 1989.
- [4] KUHN, H. *ASM Handbook: Volume 8: Mechanical Testing and Evaluation (Asm Handbook) (Asm Handbook) (Asm Handbook).* 10. vyd. Ed. Howard Kuhn a Dana Medlin. [s.l.]: ASM International, 2000 998 s. ISBN 0871703890.
- [5] Technická firemní dokumentace.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Václav Šantin, Kamax s. r. o.




prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry


doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci dne 31. 10. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



A N O T A C E
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Student: Pavel Hrdý
Téma práce: Technologické podmínky výroby šroubů a životnost nástrojů ve společnosti Kamax s.r.o.

Technological conditions of production of screws and life of tools in the company Kamax s.r.o.

Číslo BP: KSP – TP – B
Vedoucí BP: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*
Konzultant: Ing. Václav Šantin – *Kamax s.r.o. Turnov*

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zjišťováním vlivu základních mechanických vlastností materiálu na životnost nástrojů pro výrobu spojovacích prvků ve společnosti Kamax s.r.o. Turnov, konkrétně šroubů KX 1691. Teoretická část nás seznamuje s technologií výroby šroubů, experimentální část je zaměřena na zjišťování a porovnání základních mechanických vlastností tří výrobních šarží materiálu používaného k výrobě vysokopevnostních šroubů pomocí statické zkoušky tahem, zkoušek tvrdosti dle Vickerse a pozorování průběhů deformačních vláken v jednotlivých postupech na metalografických výbrusech.

Abstract:

This thesis deals with identifying the influence of the basic mechanical properties of materials on the life of tools for production of fasteners at Kamax s.r.o. Turnov, especially screws KX 1691. The theoretical part introduces the technology of screws experimental part focuses on the identification and comparison of the basic mechanical properties of three batches of material used for the production of high-strength bolts using a static tensile test, hardness test Vickers and observing waveforms deformation of fibers in the individual procedures for metallographic sections.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 4. ledna 2013

.....

Pavel Hrdý
Sopřeč 102
53316 Vápno

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Doubkovi, Ph.D a konzultantovi Ing. Václavu Šantinovi za jejich odborné vedení, rady a věcné připomínky, které mi pomohly k lepší orientaci v tématu předkládané bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině za podporu v celém období mého studia, zejména svému otci, který byl mým vzorem, inspirací a vždy ve mně věřil.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1. Technologie tváření kovů	11
2.1.1. Technologická tvařitelnost	11
2.1.2. Rozdělení tvářecích procesů	11
2.1.2.1. Dle teploty	11
2.1.2.1.1. Tváření za studena	12
2.1.2.1.2. Tváření za tepla a poloohřevu	12
2.1.2.2. Další rozdělení tvářecích procesů	13
2.2. Průvodní jevy při tváření	13
2.2.1. Anizotropie vlastností.....	13
2.2.2. Textury při tváření kovů	14
2.2.2.1 Vláknitá textura.....	14
2.2.2.2. Řádkovitá textura.....	14
2.3. Technologie výroby šroubů	15
2.3.1 Stříhání	15
2.3.2. Pěchování.....	16
2.3.3. Technologie protlačování.....	17
2.3.4. Požadavky na materiály a vliv tření	17
2.3.5. Druhy protlačování.....	18
2.3.5.1. Dopředné protlačování	18
2.3.5.2. Zpětné protlačování.....	19
2.3.5.3. Stranové a sdružené protlačování	19
2.3.6. Technologie válcování závitů.....	19
2.3.7. Šroubové spoje.....	20
2.3.7.1. Výroba šroubů objemovým tvářením	20
2.3.7.2. Zařízení a nástroje na výrobu šroubů	21
2.4. Mechanické vlastnosti při zkoušení jednoosým tahem	23
2.4.1. Diagram zkoušky v tahu	23
2.4.2. Pevnost.....	23
2.4.3. Mez pevnosti.....	24
2.4.4. Mez kluzu	24

2.4.5. Tažnost.....	25
2.4.6. Kontrakce	25
2.5. Tvrdost kovů	26
2.5.1. Vickersova metoda měření tvrdosti kovů	26
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	28
3.1. Kamax, s.r.o. Turnov.....	28
3.2. Vysokopevnostní šrouby	29
3.3. Postup výroby šroubů ve společnosti Kamax Turnov	30
3.4. Provedená měření	32
3.4.1. Statická zkouška tahem.....	33
3.4.2. Měření pevnosti	34
3.4.3. Měření tažnosti	34
3.4.4. Měření kontrakce	35
3.4.5. Struktura tvářenců šroubů	36
3.4.6 Měření tvrdosti kovů	37
3.4.6.1 Výsledky naměřených tvrdostí.....	38
4. ZÁVĚR.....	42
5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
6. SEZNAM PŘÍLOH.....	45

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
k_o	Deformační odpor	[MPa]
T_t	Teplota tání kovu	[°C]
M10	Označení metrického závitu	[-]
t	Čas	[s]
F	Síla	[N]
F_f	Zatěžovací síla	[N]
L	Délka	[mm]
ΔL	Prodloužení délky	[mm]
L_0	Původní délka	[mm]
L_u	Délka tyče po porušení	[mm]
S_0	Původní obsah	[mm ²]
S_u	Obsah v místě zúžení	[mm ²]
d_0	Původní průměr	[mm]
d_u	Průměr zúžení	[mm]
u_1, u_2	Délka úhlopříčky vtisku	[μm]
σ	Mechanické napětí materiálu	[MPa]
ε	Poměrné prodloužení deformace	[-]
E	Youngův modul pružnosti v tahu - tlaku	[MPa]
R_m	Smluvní mez pevnosti	[MPa]
R_f	Skutečná mez pevnosti	[MPa]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu s hodnotou deformace	[MPa]
A_{50mm}	Tažnost	[%]
Z	Kontrakce	[%]

β	Vrcholový úhel jehlanu	[°]
ψ	Poměrná trvalá deformace	[MPa]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
\varnothing	Průměr	[mm]
π	Ludolfovo číslo	[-]

1. Úvod

Spojovací materiál patří mezi nejpoužívanější strojní prvky, se kterými se setkává v běžném životě každý z nás. Šroub společně s matkou tvoří rozebíratelný spoj, který má oproti jiným druhům spojovacích prvků velkou výhodu v možnosti opakované montáže a demontáže bez jejich porušení nebo poškození. Neustále rostoucí poptávka po spojovacích prvcích klade na výrobce nejvyšší nároky v ohledu kvality, bezpečnosti a mechanických vlastností spoje.

Společnost Kamax s.r.o. se problematikou výroby šroubů zabývá více než 70 let a patří k celosvětové špičce v oboru zaměřeném na vysokopevnostní šrouby. Díky výzkumu a vývoji neustále zlepšuje podmínky výroby a dosahuje nejvyšší jakosti vyráběných produktů.

Technologie výroby šroubů protlačováním za studena je velmi efektivní metoda, při které je možné vyrobit velký počet výrobků za relativně krátký čas a je vhodná pro velkosériovou výrobu. Oproti třískovému obrábění je tato metoda časově i ekonomicky méně náročná a navíc při ní nevzniká žádný odpad, čímž přispívá k šetření životního prostředí.

V teoretické části byly přiblíženy fyzikální podstaty tvárné deformace a základní principy objemového tváření používaného ve společnosti Kamax s.r.o. Turnov k výrobě šroubů. V experimentální části byly zhodnoceny tři šarže materiálu 32CrB4 pro výrobu šroubů používaných ve firmě Kamax s.r.o. Turnov, zda materiály splňují vlastnosti udávané výrobcem oceli a zda jednotlivé šarže nemají vliv na nadměrné opotřebení a nízkou a kolísavou životnost nástrojů pro výrobu vysokopevnostních šroubů. Pro hodnocení základních mechanických vlastností byla použita statická zkouška tahem, zkouška tvrdosti podle Vickerse a pro pozorování deformačních vláken v postupech výroby byly vytvořeny metalografické výbrusy všech vzorků.

2. Teoretická část

2.1. Technologie tváření kovů

Tvářením kovů nazýváme technologický nebo výrobní proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru polotovaru, a to v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Během tváření vznikají plastické deformace v důsledku překročení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu. Velký vliv na proces tváření má složení materiálu, mechanické vlastnosti materiálu, teplota tváření, deformační rychlost a stav napjatosti. Pro proces tváření kovů je typické vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. [1], [2]

2.1.1. Technologická tvařitelnost

Technologická tvařitelnost je schopnost tvářeného tělesa se plasticky deformovat bez porušení celistvosti materiálu. Je dána deformační schopností a deformačním odporem k_0 . Výjimkou je technologie stříhání, kde je porušení celistvosti záměrné. [2]

Deformační schopnost (tvárnost) definujeme jako schopnost materiálu plastické deformace až do porušení soudržnosti materiálu. [2]

Deformační odpor k_0 (přetvárný odpor) je napětí, které je potřeba dosáhnout pro vznik plastické deformace pod účinkem vnějších sil. [2]

2.1.2. Rozdělení tvářecích procesů

Technologii tváření kovů lze rozdělit podle několika hledisek. Mezi nejvýznamnější hlediska patří zejména teplota, tepelný efekt a působení vnějších sil. [2]

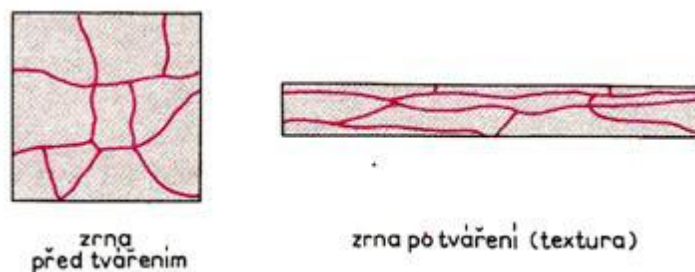
2.1.2.1. Dle teploty

Při změně teploty se mění deformační odpor materiálu proti tváření. Obecně platí, že s rostoucí teplotou se zlepšují plastické vlastnosti kovů a jejich slitin a k samotnému tváření je poté potřeba menší síla. Při rozdělení podle teploty se posuzuje vztah teploty tvářeného materiálu vzhledem k teplotě rekrytalizace. Rekrytalizační teplota je teplota, při které dochází k obnově deformovaných zrn vzniklých tvářením za studena beze změny krystalové mřížky, její hodnota je přibližně 0,4 násobek teploty tání kovu.

Tváření pod touto teplotou nazýváme tváření za studena. Při teplotním rozsahu od 0,4 až 0,7 násobku T_t probíhá tváření za poloohřevu, nad 0,7 T_t tváříme za tepla. [1], [2], [3]

2.1.2.1.1. Tváření za studena

Při výrobě většiny druhů spojovacích materiálů se využívá právě této metody. Během procesu tváření za studena se projevuje zpevňování materiálu, čímž se zvyšují meze pevnosti, meze kluzu a klesá tažnost. Zároveň narůstá odpor proti dalšímu tváření, kdy nakonec dojde k vyčerpání plastičnosti materiálu. Zrna materiálu se deformují ve směru tváření při současném vytváření textury (viz kapitola 2.2.2.) a dochází k anizotropii mechanických vlastností (viz kapitola 2.2.1.). Změna tvaru zrn při tváření je naznačena v obrázku 2.1. Mezi výrazné výhody tváření za studena patří vysoká přesnost rozměrů tvářenců, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu. [1], [2], [3]



Obr. 2.1: Změna tvaru zrn v důsledku tváření. [2]

2.1.2.1.2. Tváření za tepla a poloohřevu

Při tváření za tepla probíhá rekrytalizace velmi rychle a zpevnění způsobené tvářením mizí již v průběhu tváření. Materiál dále nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší, než u tváření za studena. Povrch je nekvalitní vlivem okujení, navíc se objevuje hrubnutí zrna. Dalším vlivem tváření za tepla je vznik vláknité struktury z hrubé dendritické struktury ingotu. Mezi nevýhody tohoto druhu tváření je velká energetická náročnost a horší geometrická i tvarová přesnost výrobků. [1], [2], [3]

Kompromis mezi tvářením za studena a za tepla představuje technologie tváření za poloohřevu. Jsou potřeba menší tvářecí síly,

u výrobků pozorujeme zlepšení mechanických vlastností, přesnosti dílů a jakosti povrchu. K přetvoření není potřeba tolik energie. U takto zpracovaných materiálů nedochází ke změně vnitřního chemického složení. [1], [2], [3]

2.1.2.2. Další rozdělení tvářecích procesů

Z hlediska působení vnějších sil lze tváření kovů dělit na tváření objemové a plošné. Při objemovém tváření deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému. Zástupci této kategorie jsou technologie válcování, kování, protlačování nebo tažení drátů. U tváření plošného převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem například technologie ohýbání nebo stříhání. [2], [3]

Při tváření se určitý díl vynaložené energie mění na teplo. Množství tepla závisí na rychlosti deformace a odporu materiálu proti deformaci. Izotermické tváření veškeré vyvinuté teplo odvádí do okolí a teplota tvářeného kovu je konstantní. Deformace je dostatečně pomalá, v praxi se ale tento typ nevyužívá. Při adiabatickém tváření všechno teplo zůstane v materiálu a dojde ke zvýšení teploty kovu, deformace je extrémně vysoká (využití u tváření v kapalině nebo výbuchem). Nejčastějším případem, a v technické praxi nejvíce využívané, je polytropické tváření, u kterého se část tepla odvede do okolí a část tepla zůstane v tvářeném materiálu. [2], [3]

2.2. Průvodní jevy při tváření

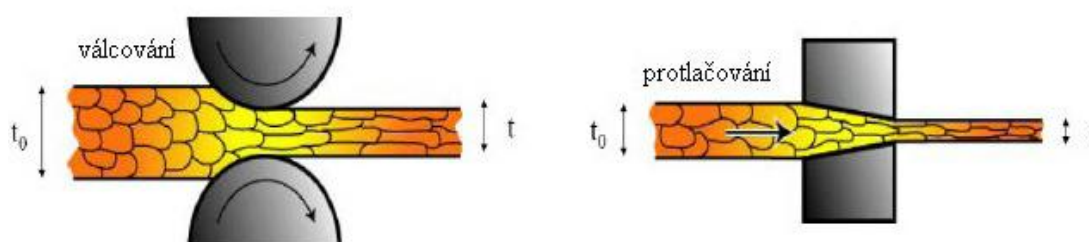
2.2.1. Anizotropie vlastností

Anizotropie je nehomogenita vlastností v objemu tělesa a jejich závislost od směru, ve kterém je zjišťujeme. Opakem anizotropie je izotropie, kde izotropní těleso má v každém směru stejné vlastnosti. V technických materiálech, zejména polykrystalických kovech a jejich slitinách, vzniká anizotropie ve výrobním procesu. V některých případech se anizotropie vyvolává záměrně, aby se zvýraznily nebo zvýšily v určitém směru vlastnosti materiálů, například při válcování plechů za studena nebo při protahování drátů při výrobě šroubů (viz obr. 2.2). [1], [2]

Anizotropii lze rozdělit na dvě skupiny. Primární je způsobena usměrněním krystalů při tuhnutí a rekrytalizací v tuhém stavu. Sekundární je vyvolána v druhovýrobních procesech, například při tváření. Obecně může

být anizotropie vyvolána technologickými postupy, při odlévání vzniká lící textura, při tváření pak deformační textura. [1], [2]

Lící textura vzniká nejčastěji usměrněním krystalů ve směru odvodu tepla, kolmo na stěnu formy. Deformační textura se objevuje u polykrystalických materiálů během procesu tváření za studena, působením deformačních vlivů se zrna ve struktuře mění, což má vliv na zpevnění materiálu. Tuto texturu nelze odstranit tepelným zpracováním, k přetvoření na novou texturu se využívá rekrytalizačního žíhání. Je to cyklický pochod, po deformaci se opět na hranicích zrn vytvářejí zárodky nových zrn. [1], [2]



Obr. 2.2: Změna textury při objemovém tváření [2]

2.2.2. Textury při tváření kovů

Při objemovém tváření kovů mohou vznikat různé typy textur, například vláknitost nebo řádkovitost. [1], [2]

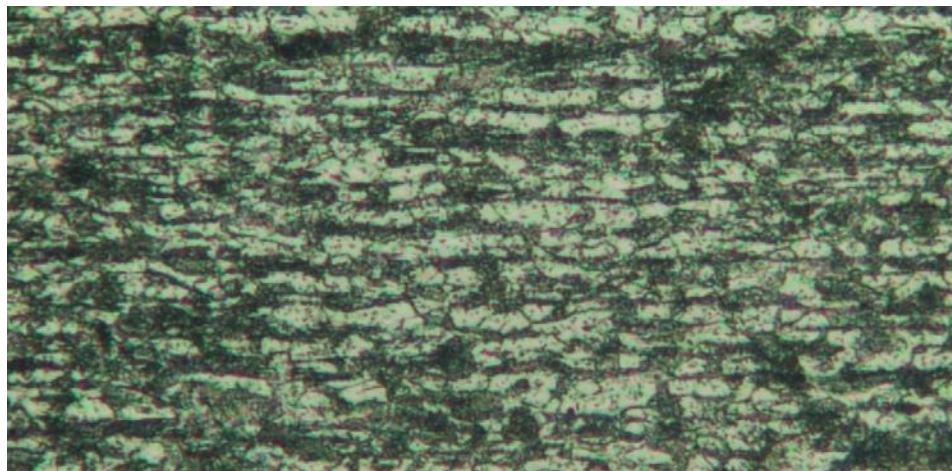
2.2.2.1 Vláknitá textura

Vláknitá textura (vláknitost) je průvodním jevem při tváření za tepla, vzniká jako důsledek velkého množství nekovových vměstků, například nečistoty nebo i nitridy a fosfidy obsažené ve vnitřní struktuře, nebo bublin a dutin. Dochází zde ke směrovému uspořádání vnitřní struktury. Vláknitost nelze odstranit tepelným zpracováním ani tvářením a je dobře pozorovatelná lidským okem. [1], [2]

2.2.2.2. Řádkovitá textura

Řádkovitá textura (řádovitost) je typický jev při tváření kovů za studena a většinou po procesu následuje rekrytalizační žíhání (žíhání na obnovu zrn). Tím, že tváříme v jednom směru, dochází k přetvoření strukturálních složek materiálu. Řádkovitost se objevuje u vícesložkových

slitin při nízké doválcovací teplotě, lze pozorovat pravidelné uspořádání pruhů (řádků) složek, většinou feritu a perlitu (příklad uspořádání řádkovitosti viz obr. 2.3). Tato struktura jde odstranit normalizačním žíháním. [1], [2]



Obr. 2.3: Řádkovitá textura při tváření za studena [vlastní obr.]

2.3. Technologie výroby šroubů

2.3.1 Stříhání

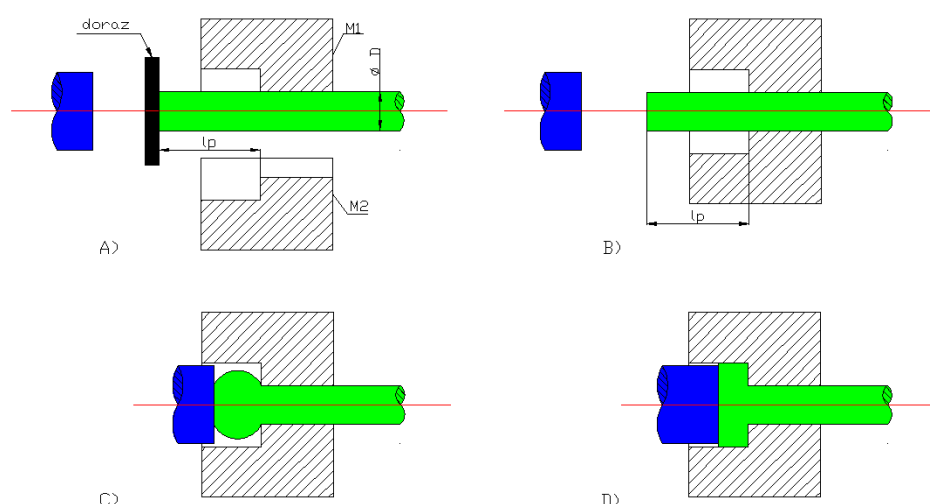
Stříhání je metoda dělení materiálu a zároveň jedna ze základních operací tváření. Jedná se o technologický proces, při kterém se materiál odděluje smykovým namáháním, vyvolaným střížnými hranami nástroje. Geometrie a jakost střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné vůle (t.j. rozdíl mezi rozměrem pracovních částí střížníku a střížnice), tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. K největšímu přetvoření dochází na střížných hranách, směrem do materiálu se deformace zmenšuje. [2], [14]

Průběh oddělování materiálu probíhá ve třech fázích. V první fázi dochází ke kontaktu střížníku s materiálem, kdy se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá a zároveň deformuje. Tento pochod se nazývá pružná fáze a končí dosažením meze kluzu R_e . Následuje samotný proces tváření, neboť dochází k plastické deformaci, při které se zvyšuje napětí nad mez kluzu. Jedná se o smykové napětí a v místě střížných hran dochází ke vzniku trhlin. Ve třetí fázi střížník postupuje dále do materiálu, vznikají další trhliny, tvárnost materiálu vyčerpá a dojde k porušení jeho soudržnosti. [2], [14]

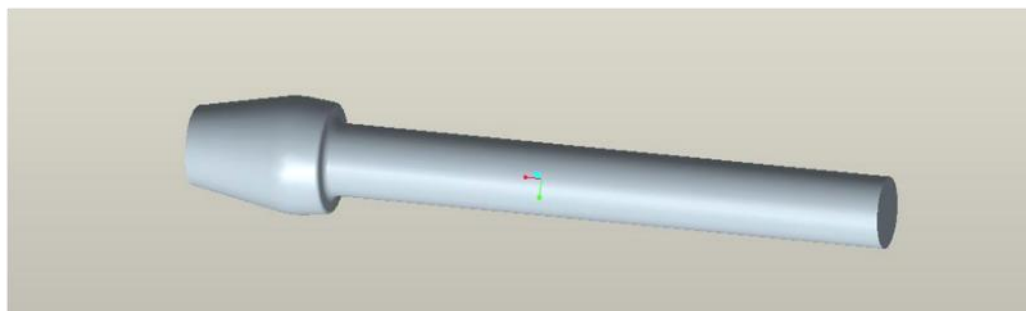
Objemové stříhání za studena se používá pro stříhání tyčí a profilů různých průřezů. Tvary střižníku a střižnice by se měli co nejvíce podobat příčnému průřezu (obrysu) stříhaných profilů, aby byla dodržena podmínka stejné tloušťky přestřihovaného materiálu. Při přesném objemovém stříhání na speciálních zařízeních musí být v místě stříhu vyvozován víceosý stav napjatosti. Přídavná napjatost má příznivý vliv na kvalitu střižné plochy. Profily a tyče velkých průřezů se stříhají objemovým stříháním za zvýšených teplot. [2], [14]

2.3.2. Pěchování

Pěchování patří mezi základní operace objemového tváření. Principem je zmenšování výšky polotovaru a zvětšování jeho průřezu při dodržení stejných objemů před a po operaci. Schéma operací při pěchování je naznačeno na obr. 2.4. Vlivem tření (více o tření v kapitole 2.3.4.) je deformace v celém objemu nerovnoměrná a polotovar se přetvoří do tzv. soudečkového tvaru (viz obr. 2.5) Polotovary určené k pěchování mají nejčastěji kruhový, prstencový nebo obdélníkový půdorys. Pěchování se používá jako samostatná operace při výrobě šroubů, nýtů a jiných spojovacích součástí, nebo jako pomocná operace v kombinaci s protlačováním. [2], [3], [4], [5]



Obr. 2.4: Schéma operací při pěchování [4], [5]



Obr. 2.5: 3D model pěchování při výrobě šroubů [vlastní obr.]

2.3.3. Technologie protlačování

Protlačování je objemová technologie, při které v přetvářeném elementu materiálu působí všestranný tlak. Deformace materiálu probíhá mezi průtlačníkem a průtlačnicí do předem stanoveného směru v důsledku působení pracovní síly. Změna tvaru polotovaru se dosáhne kombinací pěchování a různými způsoby protlačování. Polotovar se vloží do lůžka průtlačnice a tlakem průtlačníku se kov vytlačuje do definovaného otvoru v průtlačnici, přitom nedochází ke změně objemu polotovaru a protlačku. Pro tuto technologii je třeba vysokého měrného tlaku a velkého výkonu lisu. Přesnost protlačků je obvykle velmi vysoká ($\pm 0,05$ mm), takže není nutno před dalším použitím protlačky rozměrově upravovat. Využití materiálu se pohybuje mezi 90 až 100 %. [2], [3], [4], [5]

2.3.4. Požadavky na materiály a vliv tření

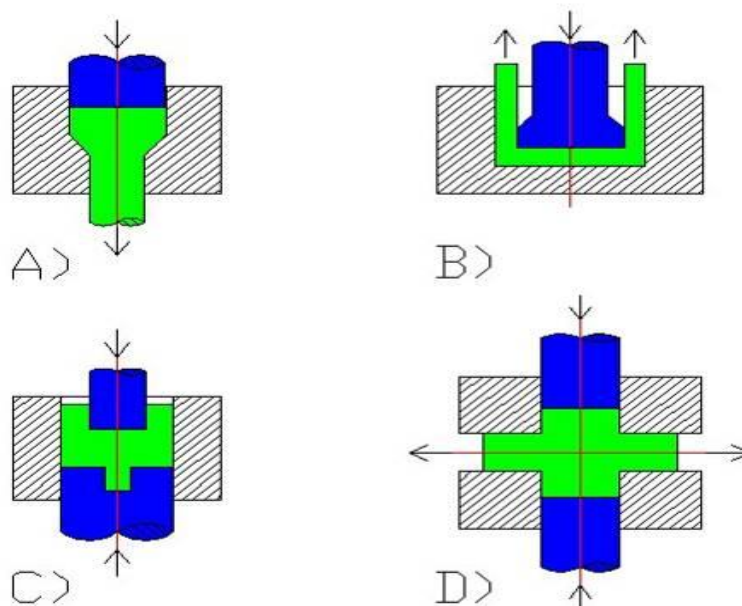
Ocel vhodná pro protlačování má být velmi tvárná, tomu odpovídá struktura feriticko-perlitická (globulární perlit). Dnes se nejvíce používají nízkouhlíkové a nízkolegované oceli. Nejlepším stavem oceli je žíhání na měkko, případně kombinace normalizačního žíhání (dosažení jemného zrna) a žíhání na měkko (dosažení tvárnosti). Materiály mají mít co nejmenší mez kluzu, co nejvyšší tažnost a kontrakci, nízký obsah uhlíku (do 0,2 % C), fosforu, síry a nekovových vměstků. Výchozím polotovarem jsou špalíky kruhového průřezu a kaloty, které se získají dělením tyčí resp. drátů objemovým stříháním nebo řezáním. Takto získané polotovary je nutné zarovnat většinou první operací, tzv. kalibračním pěchováním. [2], [14], [15]

Proces protlačování provází tření, které výrazně ovlivňuje vlastní pochod, kvalitu výrobku a ekonomii výroby. K eliminaci tření u ocelí je vhodné provést povrchovou úpravu. Povrchové úpravy ocelových polotovarů

spočívá v odstranění povrchových vad, následuje mechanické nebo chemické čištění, fosfátování a mydlení. Během samotného procesu protlačování je nutné použít mazivo, které zabraňuje suchému tření a zadírání nástrojů. Tím se sníží deformační odpor a zvýší se kvalita povrchu protlačků. Velikost třecích sil ovlivňují i drsnosti povrchů průtlačníku a průtlačnice a jejich opotřebení v kritických místech. [2], [14], [15]

2.3.5. Druhy protlačování

Dle směru a způsobu tečení materiálu lze protlačování rozdělit na čtyři způsoby, dopředné, zpětné, sdružené a stranové. Na obrázku 2.6 jsou tyto základní druhy schematicky naznačeny a v následujících kapitolách popsány.



Obr. 2.6: Druhy protlačování, A) dopředné, B) zpětné, C) sdružené, D) stranové [4], [5]

2.3.5.1. Dopředné protlačování

Dopředné (sousedné, přímé) protlačování – při dopředném protlačování teče kov ve směru pracovního pohybu průtlačníku. Polotovar se vloží do dutiny průtlačnice, nastává pěchování až do vyplnění dutiny průtlačnice, následně je při dalším pohybu průtlačníku materiál nucen téct otvorem a vytváří se dřík (obr. 2.6-A). Vlivem deformace je tedy získán výrobek, jehož tvar se skládá ze zesílené části a dříku. Při této operaci je potřeba menšího tlaku, protože odpor proti deformaci je menší. Tato technologie je využívána při výrobě šroubů různých délek dříku a velikostí

hlav šroubu. Využití je také u výroby pouzder a trubek menších průměrů s přírubou i bez. [2], [3], [4], [5]

2.3.5.2. Zpětné protlačování

Při zpětném protlačování se materiál polotovaru pohybuje proti směru pohybu průtlačníku (obr. 2.6-B). Na průběh operace má velký vliv vnější tření, neboť se kov přemísťuje podél stěn dutiny. Odpor proti deformaci je zde mnohem vyšší než u sousledného, je potřeba výkonnějších lisů. Během procesu lze rozpoznat čtyři stádia, pěchování polotovaru až do vyplnění dutiny průtlačnice, následuje ztenčení polotovaru až na 2/3 původní tloušťky při stejném tlaku, další ztenčování polotovaru při klesajícím tlaku a nakonec konečné ztenčení polotovaru při rychlém vzrůstu tlaku. [2], [3], [4], [5]

2.3.5.3. Stranové a sdružené protlačování

Sdružené (obousměrné, kombinované) protlačování – sdružené protlačování je kombinací dopředného a zpětného protlačování. Materiál se pohybuje ve směru i proti směru pohybu průtlačníku (obr. 2.6-C). Toto protlačování se používá při výrobě složitějších výrobků. [2], [3], [4], [5]

Při stranovém protlačování se materiál přemísťuje ve směru kolmém na směr pohybu průtlačníku. Při této operaci se dosáhne vnitřního nebo vnějšího osazení po obvodu protlačku (obr. 2.6-D). [2], [3], [4], [5]

2.3.6. Technologie válcování závitů

Technologie válcování je kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci za podmínek převažujícího všestranného tlaku. Válcovaný materiál se mezi válci deformuje, výška se snižuje, materiál se prodlužuje a současně rozšiřuje a mění se i rychlost, kterou válcovaný materiál z válcovací stolice vystupuje. Válcování se provádí hlavně za tepla, ale i za studena. Výsledkem procesu je vývalek. [1], [9]

Speciálním případem válcování je výroba tvářených závitů. Závit je vytvořen tvářením polotovaru za velkého působení síly dvou či více otáčejících se válcovacích nástrojů se shodnými geometrickými rozměry jako budoucí závit. Vniknutím profilu válcovacího nástroje do povrchu polotovaru je materiál stlačován až do základu válcovacího závitového nástroje a vyválcován na jmenovitý rozměr. Tímto způsobem lze dosáhnout vysoké

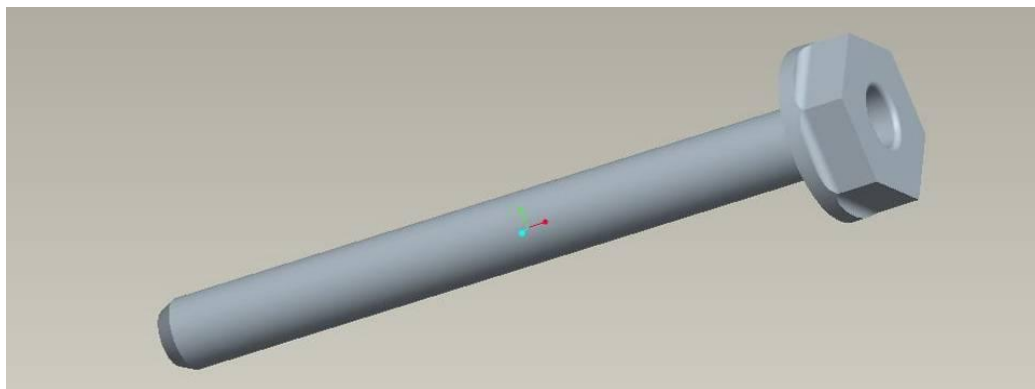
rozměrové přesnosti výrobků, velmi dobré hodnoty drsnosti na bocích závitů, zvýšení pevnosti tvářením za studena v důsledku zpevňování, sníženou vrubovou citlivost a možnost rychlé a cenově výhodné sériové výroby. Oproti závitům vyráběných technologií třískového obrábění (soustružení, frézování) mají tvářené závity vyšší únosnost, nedochází k přerušování průběhu vláken v textuře a celkově lepší hodnoty mechanických vlastností. [1], [9]

2.3.7. Šroubové spoje

Šroubové spoje patří do skupiny rozebíratelných spojů a jsou nepostradatelnou součástí v technické praxi. Používají se zejména ke spojování strojních součástí, jejich výhodou je jednoduchost, spolehlivost a možnost opakované montáže a demontáže. Šroub je malý výkovek s hlavou a válcovým dříkem, který je opatřen normalizovaným závitem dané velikosti a stoupáním. Závit je určen pohybem tvořící plochy po šroubovici, což je dráha bodu při šroubovém pohybu. Tento pohyb určíme složením rotačního pohybu kolem osy kolmé k rovině otáčení a rovnoměrného translačního pohybu ve směru osy šroubového pohybu. Výrobu šroubů lze provádět technologií objemového tváření protlačováním nebo pomocí třískového obrábění, při kterém ale vzniká odpad v podobě třísky a celkově je výroba časově náročnější. [7]

2.3.7.1. Výroba šroubů objemovým tvářením

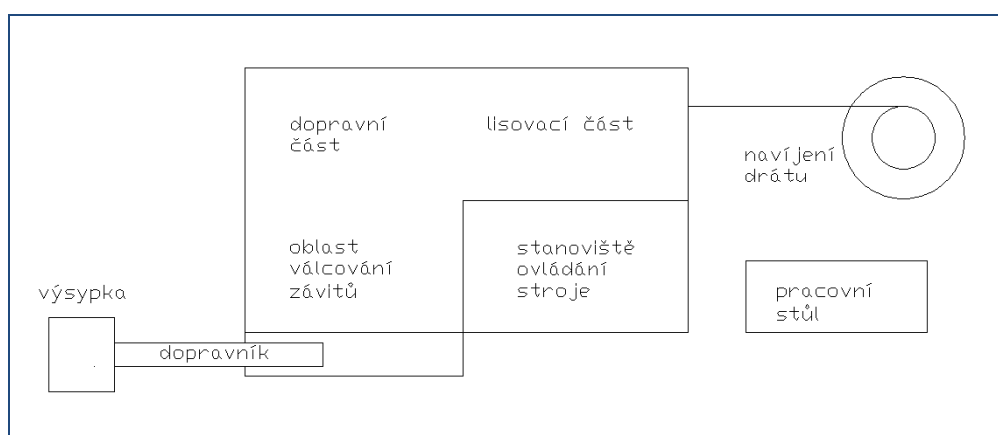
Při výrobě šroubů se používá dopředné protlačování. Celkově se výroba rozdělí do několika menších operačních úseků. Volba počtu těchto úseků je závislá na celkové délce polotovaru a délce a průměru konečného výrobku. Výchozím polotovarem pro výrobu šroubu je tyčový válený materiál, který je odměřený právě pro jeden šroub. Následují jednotlivé operační úseky, nejdříve proběhne pěchování v uzavřené lisovnici, aby polotovar dostal rozměry, které zaručí nejlepší podmínky pro následné protlačování. Následuje samotné protlačování polotovaru mezi průtlačníkem a průtlačnicí. Při tvarování se vytvaruje hlava šroubu a případně se ostříhne přebytečný materiál. Ukázka hotového šroubu je na obrázku 2.7. Na závěr postupu se do dříku budoucího šroubu vyválnuje příslušný závit, tento úkon je možné provést na jiném pracovišti. [3], [4], [5]



Obr. 2.7: Šroub vyráběný firmou Kamax, 3D model, bez závitů [vlastní obr.]

2.3.7.2. Zařízení a nástroje na výrobu šroubů

Výroba šroubů probíhá na kovacích strojích, zejména na vodorovných s klikovým nebo dnes již s častěji hydraulickým mechanismem. Ve firmě Kamax s.r.o. Turnov se využívá převážně moderních lisů italské výroby značky Sacma (viz obr. 2.9). Tyto lisy pracují až v pěti lisovacích stupních a jsou určené pro výrobu šroubů M6 až M10. Za minutu vyrobí v závislosti na rozměrech šroubu 190 až 210 kusů. [8]



Obr. 2.8: Schématický náčrt jednotlivých oddělení lisu. [8]

Tento lis je z funkčního hlediska rozdělen na čtyři části (viz obr. 2.8). Polotovár pro výrobu šroubů je drát navinutý na samostatných cívkách, který vstupuje do stroje z pravé strany a dostává se do lisovací části. Zde probíhá rovnání, dělení drátu na požadovaný rozměr a samotné lisování budoucího šroubu. Šroub je následně transportován dopravníky do oblasti válcování závitů, kde se pomocí dvou rýhovaných desek tváří závit. [3],[4],[8]

Hotový šroub je poté dopraven do výsyvky, odkud je dle požadavků zákazníka převezen na tepelné zpracování, povrchovou úpravu nebo jako finální výrobek připraven k expedici. Velmi důležitou oblastí je stanoviště ovládání stroje, kde se lis programuje, případně zde probíhá výměna lisovací matrice, nástrojů a údržba. [8]



Obr. 2.9: Vodorovný protlačovací lis Sacma SP 28A ve společnosti Kamax.

Parametry stroje: r.v. 2006, výkon 30kW, přitlačná síla 700 kN [8]

Smykadlo s upnutou pohyblivou částí stroje koná přímočarý vratný vodorovný pohyb. Kovací nástroje jsou ve vodorovné poloze a mají dvě dělicí roviny, díky tomu lze na těchto lisech vyrábět šrouby i s velmi dlouhými dřívky. Lisovnice může mít více dutin, na jeden zdvih stroje se tak vykonají operace ve všech dutinách. Při samotné výrobě se do dutiny lisovnice vloží nebo vsune polotovar až na nastavený doraz, matrice nástroje zajistí polotovar proti pohybu a začíná cyklus stroje. Polotovar se tlakem lisovnice deformuje, takže kov vyplňuje dutinu. Když dosáhne smykadlo s lisovníkem své horní úvratě, vrací se zpět do výchozí polohy, přestane působit tlak a výkovky se pomocí vyhazovačů přesunou do jiné dutiny, v případě jednodutinové lisovnice je operace skončena. [3], [4], [13]

2.4. Mechanické vlastnosti při zkoušení jednoosým tahem

Mechanická zkouška jednoosým tahem, také statická zkouška tahem, je základní zkouška materiálu, která dokáže poskytnout údaje pro zjištění základních mechanických vlastností materiálu. V současné době se jedná o nejrozšířenější zkoušku v technické praxi, která je jednoduchá, účelná a časově nenáročná. Zkouška je založena na zatěžování zkušební tyče jednoosým tahem, až do jejího porušení, s cílem zjistit napěťové a deformační charakteristiky zkoušeného materiálu, její průběh je určen normou ČSN EN ISO 6892-1. [1], [18]

2.4.1. Diagram zkoušky v tahu

Při zkoušce v tahu jsou zaznamenávána data, která charakterizují průběh odporu zkoušeného materiálu proti deformaci. Tato závislost je zakreslena v tahovém diagramu. Trhací stroj vyhodnocuje zkoušku v souřadnicích F a ΔL (jedná se o registrační diagram). Nejčastěji se diagramy používají v souřadnicích smluvních hodnot σ - ε . [1], [2]

Vztah mezi napětím a poměrnou změnou délky (pružnou deformací) se vyjadřuje lineárním zákonem úměrnosti, tzv. Hookovým zákonem. Matematicky lze tuto závislost vyjádřit

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

E - konstanta úměrnosti (Youngův modul pružnosti v tahu-tlaku) [Pa],

σ – mechanické napětí materiálu [Pa],

ε - poměrné prodloužení deformace [-].

Pro výpočet veličin σ a ε se může využít vztahů (2) a (3)

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{a} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2), (3)$$

2.4.2. Pevnost

Pevnost je odpor materiálu proti trvalému porušení soudržnosti jeho částic. Lze vyjádřit jako napětí, při kterém se materiál rozdělí na dvě nebo více částí, toto porušení se uskuteční při mezním stavu porušení a dochází k lomu. Podle způsobu namáhání rozlišujeme pevnost v tahu, tlaku, ohybu, krutu či střihu. [1]

Smluvní pevnost R_m je dána největším neskutečným napětím vyjadřující daný stav při zatěžování. Při jednoosém namáhání tahem je

to stav na mezi plastické rovnoměrnosti, při kterém začíná místní kontrakce průřezu. [1]

Skutečná pevnost je definovaná skutečným napětím v okamžiku porušení tělesa. Při jednoosém tahovém zatížení je tato pevnost vyjádřena poměrem

$$\bar{\sigma}_{\max} = \frac{F_f}{S_u} = R_f \quad (4)$$

F_f - hodnota zatěžovací síly [N],

S_u - skutečný průřez v okamžiku porušení [mm²],

R_f - fyzikálně-metalurgická odolnost materiálu proti vzniku a šíření lomu v daných podmínkách namáhání [N/mm²]. [1]

2.4.3. Mez pevnosti

Mez pevnosti R_m , je základní materiálová vlastnost, podle které se hodnotí a porovnávají materiály. Hodnota, kterou zjišťujeme při statické zkoušce jednoosým tahem, je normou ČSN EN ISO 6892-1 určena jako smluvní napětí závislé na zatěžující síle F_m , které předchází prasknutí zkušební tyče. Tato závislost se zapisuje vztahem

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (5)$$

F_m - maximální zatěžující síla v tahovém diagramu [N],

S_0 - původní obsah průřezu zkušební tyče [mm²].

Mez pevnosti je vždy nejvyšší smluvní napětí v průběhu zatížení zkušební tyče. [1], [18]

2.4.4. Mez kluzu

Mez kluzu R_e znázorňuje přechod mezi elastickou a elasticko-plastickou oblastí zatěžovací křivky. Charakterizuje se jako nejmenší napětí, při kterém se projevuje výrazná plastická deformace. Tato mechanická vlastnost definuje odolnost materiálů proti vzniku plastických deformací. Její hodnota je závislá na chemickém složení a vnitřní struktuře materiálu. [1]

Výrazná mez kluzu R_e je definována jako napětí, při kterém se zkušební tyč trvale deformuje bez výrazného zvětšení tahového zatížení. [1]

Nevýrazná mez kluzu představuje plynulý přechod z elastické do elasticko-plastické oblasti deformace. Její určení není jednoduché, proto

se určuje smluvní mez kluzu. Nejčastěji se určuje z trvalé deformace pod zatížením R_p , jako napětí, při kterém trvalá deformace dosáhne požadovanou hodnotu vyjádřenou v % měřené délky tyče L_0 nebo průtahoměru. Hodnota trvalé deformace se uvede v označení meze kluzu, např. $R_{p0,2}$. [1]

2.4.5. Tažnost

Tažnost A je jednou z deformačních charakteristik materiálu, kterou lze zjistit pomocí tahové zkoušky a vyjadřuje plastické vlastnosti ve směru zatížení. Tažnost je definovaná jako poměrné trvalé prodloužení měřené délky zkušební tyče po přetržení vyjádřené v procentech ku počáteční měřené délce L_0 . Hodnota tažnosti v % lze vyjádřit poměrnou deformací ε :

$$A_x = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \varepsilon \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

L_0 – původní délka zkušební tyče před zkouškou [mm],

L_u – délka tyče po přetržení [mm].

U materiálů, kde při zatěžování osovou silou tyče vzniká krček, závisí tažnost na poměru délky a průřezu tyče a pro porovnání hodnot tažnosti je podmínkou stejný průřez zkušebních tyčí. [1]

2.4.6. Kontrakce

Kontrakce Z je definovaná jako největší poměrné trvalé zúžení průřezu zkušební tyče, které je odměřené po jejím přetrhnutí v místě lomu. Hodnota kontrakce v % je vyjádřena poměrnou trvalou deformací ψ jako

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \psi \cdot 100 \quad [\%] \quad (7),$$

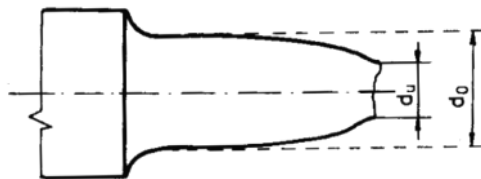
S_0 - obsah původního průřezu zkušební tyče [mm²],

S_u - plocha nejmenšího průřezu zkušební tyče po přetrhnutí v místě lomu [mm²].

Plochy průřezů u kruhových tyčí lze matematicky vyjádřit

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \quad S_u = \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \quad (8), (9).$$

Hodnota průměru d_u se naměří v zúžené části tyče, jak je naznačeno na obrázku (obr. 2.10).



Obr. 2.10: Měření zúženého průřezu na lomu zkušební tyče [1]

Výsledná kontrakce se vypočítá z rovnice

$$Z = 1 - \frac{S_u}{S_0} = 1 - \left(\frac{d_u}{d_0} \right)^2 \cdot 100 \text{ [%]} \quad (10).$$

Kontrakce je často využívaný parametr při zkoumání mechanických vlastností kovů. Při tahové zkoušce je tato hodnota měřidlem čistoty zkoušeného kovu. [1]

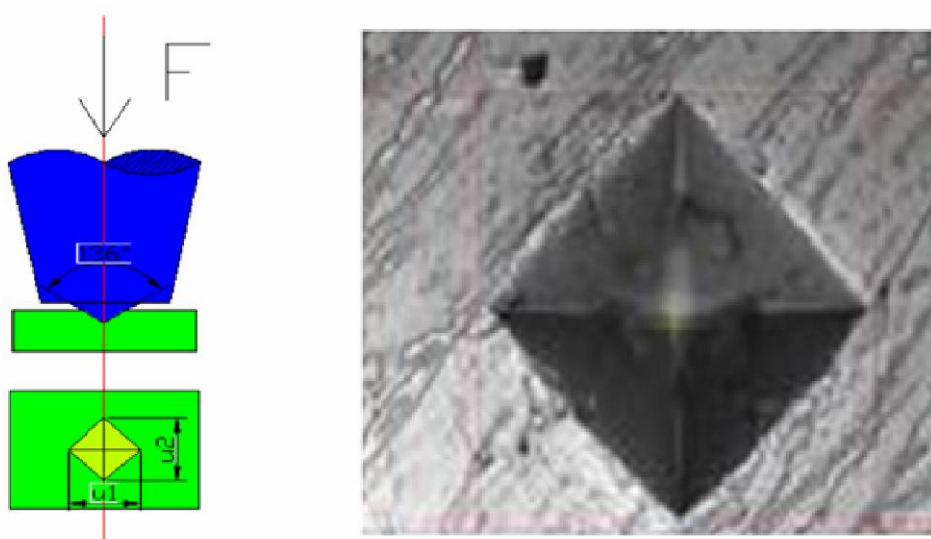
2.5. Tvrdost kovů

Tvrdost je mechanická vlastnost materiálu, kterou lze vyjádřit jako odpor proti deformaci jeho povrchu vyvolaný působením předem geometricky definovaného tělesa. Obecně průběh zkoušek tvrdosti můžeme chápat jako cílené mechanické zatěžování tlakem povrchu zkoušeného materiálu pomocí zkušebního tělesa (indentor), vyrobeného z tvrdšího materiálu, než je materiál zkoušený. Výsledek tohoto působení se vyjádří jako hodnota tvrdosti. Pro experimentální zjištění tvrdosti šroubů v této práci byla zvolena Vickersova zkouška tvrdosti. [1], [6]

2.5.1. Vickersova metoda měření tvrdosti kovů

Zkouška tvrdosti podle Vickerse patří mezi statické zkoušky tvrdosti materiálu a její provedení je popsáno normou ČSN EN ISO 6507-1. Principem zkoušení je vtlačení diamantového čtyřbokého jehlanu s vrcholovým úhlem $\beta=136^\circ$ do povrchu zkoušeného materiálu danou silou F po dobu t , tento princip je naznačen na obrázku 2.11. Po odlehčení se měří délky úhlopříček vtisku (viz obr. 2.11). Velikost se označuje značkou HV. Rozměrové jednotky se u tvrdosti neuvádí, z hledem k nerovnoměrnému rozložení napětí mezi vnikacím tělesem a plochou vtisku, nemá jednotka reálný fyzikální význam a proto je hodnota tvrdosti pouze porovnávací.

Pro porovnávání výsledků zkoušek je nutné uvést velikost zatěžující síly F [N]. Norma definuje tzv. normální zatížení, což je hodnota 294 N. Při zatížení vzorku hodnotou 294 N po dobu 10-15 sekund se označí hodnota tvrdosti pouze značkou HV. Pokud se použije jiná, než síla 294 N a čas delší než 15 sekund, doplní se značka číslem udávající příslušné hodnoty ve tvaru HV F/t . Teplota během zkoušky je normou předepsána v rozmezí 10-35°C. [1], [6]



Obr. 2.11: Vlevo princip měření tvrdosti Vickersovou metodou [11],
vpravo tvar vtisku ve zkoušeném materiálu s viditelnými úhlopříčkami. [12]

3. Experimentální část

V experimentální části bakalářské práce byly vyhodnocovány základní mechanické vlastnosti a hlavní charakteristiky materiálů používaných pro výrobu šroubu s označením KX 1691. Hlavním úkolem bylo určení vlivu mechanických vlastností, na v současnosti velmi kolísavou životnost razníků nástrojů. Zkoušeným materiálem byla ocel s označením 32CrB4. Hodnoceny byly tři šarže tohoto materiálu, s označením 45352, 45455 a 45498. Jednotlivé šarže mezi sebou byly porovnávány. Materiál 32CrB4 je ve společnosti Kamax s.r.o. Turnov velmi často využíván pro výrobu vysokopevnostních šroubů. Všechna měření byla provedena v laboratořích na Katedře strojírenské technologie FS TUL.

3.1. Kamax, s.r.o. Turnov

Společnost Kamax s.r.o. dlouhodobě patří mezi přední výrobce vysokopevnostních spojovacích prvků pro automobilový průmysl. Se stanovišti v Evropě, Amerických kontinentech a Asii, se Kamax s.r.o. stal důležitým dodavatelem produktů pro všechny významné výrobce a dodavatele osobního a nákladního automobilového průmyslu, včetně Audi, BMW, Ford, Peugeot, Porsche, Scania, Škoda nebo VW. Hlavní směr firmy se orientuje na různé typy kvalitních a vysokojakostních motorových, podvozkových či speciálních šroubů (ukázka viz obr. 3.1), které se vyznačují dosažením nejlepších mechanických vlastností, s velkým důrazem na pevnost. [8]



Obr. 3.1: Ukázka produkce motorových šroubů Kamax [8]

Společnost byla založena jako rodinný podnik v roce 1935 v Osterode v Německu a dnes zaměstnává přes 3000 zaměstnanců v 11 mezinárodních stanovištích. Také v České republice společnost v roce 1992 otevřela vysoce moderní závod v severočeském městě Turnov jako svoji celkově pátou pobočku. Kamax s.r.o. Turnov se specializuje na šrouby v rozmezí M6 až M24 v délkách až do 500mm, každoročně se zde vyrobí přes 650 miliónů šroubů, což je přibližně 19 tisíc tun a produkce se neustále zvyšuje. I přes rostoucí objem vyrobených produktů společnost dokáže zaručit nejvyšší jakost a kvalitu vyráběných šroubů. [8], [13]

3.2. Vysokopevnostní šrouby

V této bakalářské práci se předmětem zkoumání stal vysokopevnostní šroub M10x1,5. Materiál, ze kterého je šroub vyráběn, je speciální šroubářská ocel typu 32CrB4, která je mikrolegovaná borem, má vyšší obsah manganu a nejčastěji se používá pro výrobu vysokopevnostních spojovacích součástí. Její chemické složení je uvedeno v tabulce (Tab. 3.1). Norma EN 10263-4 předepisuje maximální hodnotu $R_{mmax} = 620$ MPa a kontrakci $Z_{min} = 57$ %. Pro experimenty byly použity tři šarže, a to 45352, 45455 a 45498. Polotovarem pro výrobu šroubu je svitek kruhové tyče tažené za studena o průměru $\varnothing 9,74$ mm. Dle údaje výrobce tyče, je polotovár před navinutím do cívky fosfátován. [16] [17]

Tabulka 3.1: Chemické složení oceli 32CrB4 dle výrobce (Příloha 1)

Chemické složení oceli 32CrB4 [%]					
C	Mn	Si	Cr	P	S
0,3042	0,7277	0,0622	1,0772	0,0109	0,0082
Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V
0,0225	0,022	0,0278	0,0305	0,0037	0,005
Sn	B	N	As	O	
0,0023	0,0037	0,0061	0,0025	0,0037	

3.3. Postup výroby šroubů ve společnosti Kamax Turnov

Společnost Kamax s.r.o. Turnov při výrobě vysokopevnostních šroubů využívá nejmodernější technologie a poznatky. Veškeré úkony jsou řízeny počítačovým programem, včetně přenášení zpracovávaného materiálu (protlačku), čímž se eliminuje možnost výroby zmetků lidským faktorem. Obsluha stroje zejména kontroluje kvalitu výrobků a opotřebení nástrojů.

První operací při výrobě šroubů je rovnání a dělení materiálu. Polotovarem je ocelový drát o daném průměru 9,74 mm, který je při výrobě navinut na cívky. Při rozvíjení svitku drátu z cívky jde drát do lisovacího stroje, kde je ihned narovnán a nastříhán na požadovanou délku 100 mm (obr. 3.2-A). Polotovar následně putuje do postupné zápustky, která obsahuje pět dutin. Zde probíhá kontinuálně proces tváření, za použití procesních kapalin, zejména minerálních olejů, které snižují tření při protlačování.



Obr. 3.2: Postup výroby šroubu objemovým tvářením. Zleva: A) polotovar drátu, B) první úsek pěchování, C) pěchování budoucí hlavy šroubu, D) protlačený kruhový obrys hlavy šroubu, E) vyražený šestihran s přebytkem materiálu, F) šroub bez závitu. [vlastní obr.]

V první dutině je polotovár mírně pýchován, aby se dosáhlo požadovaného tvaru, dojde k napýchování budoucí hlavy šroubu na $\varnothing 10$ mm a zároveň se budoucí dřík šroubu zúží na $\varnothing 9$ mm. Celková délka šroubu se v této fázi zvětší na 114 mm (obr. 3.2-B).

Ve druhé dutině je polotovár zcela napýchován pro následné tvarování budoucí hlavy šroubu, v tomto případě do tvaru komolého kužele o výšce 19 mm (obr. 3.2-C).

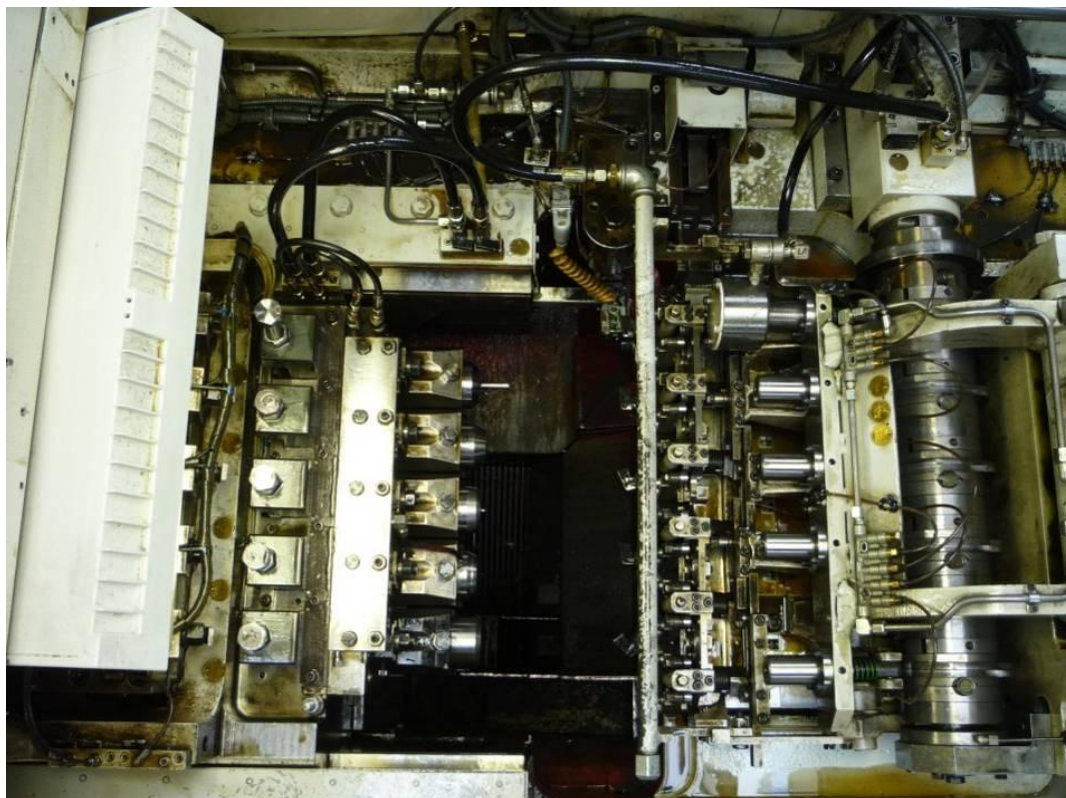
Třetí operací je samotné protlačování, dochází ke zploštění komolého kužele na válec o průměru 20 mm a výšce 8 mm a razník vytvoří v hlavě zapuštění o průměru 7,5 mm a hloubce 3 mm. Celkový rozměr šroubu se nyní sníží na 88 mm, avšak objem tvářené součásti zůstává stále neměnný. Zároveň při tomto kroku razník na povrch hlavy vyrazí nezbytné údaje o typu šroubu a provede se sražení hrany na konci dříku (obr. 3.2-D).



Obr. 3.3: Postup výroby šroubu. [vlastní obr.]

Následuje vytvoření šestihranné hlavy šroubu pro montážní klíč velikosti 17 a kruhové osazení $\varnothing 22$ mm (viz obr. 3.2-E). Z jiného pohledu (viz obr. 3.3) je u tohoto postupu patrný přebytek materiálu, který je v poslední dutině ostřížen. Během procesů v dutinách zápustky dochází ke stálému mazání oleji, které pomáhá chlazení, odvodu přebytečného tepla vzniklého při tváření (viz kap. 2.1.2.2.) a také zároveň plní funkci mazání pro snížení tření (viz kap. 2.3.4.). Pohled do lisovací části stroje na dutiny je zachycen na obrázku 3.4. [3], [4], [8]

Téměř hotový šroub pokračuje do řadiče, ve kterém je správně orientován pro následné válcování závitu ve válcovacích hlavách. Hotový šroub je dopravníkem přemístěn do výsypníku, odkud je odvezen k tepelnému zpracování a povrchové úpravě, pokud to zákazník požaduje. [4], [5], [8]



Obr. 3.4: Pohled do lisovací části stroje ze stanoviště obsluhy, uprostřed je vidět pět razníků postupné zápustky [8]

3.4. Provedená měření

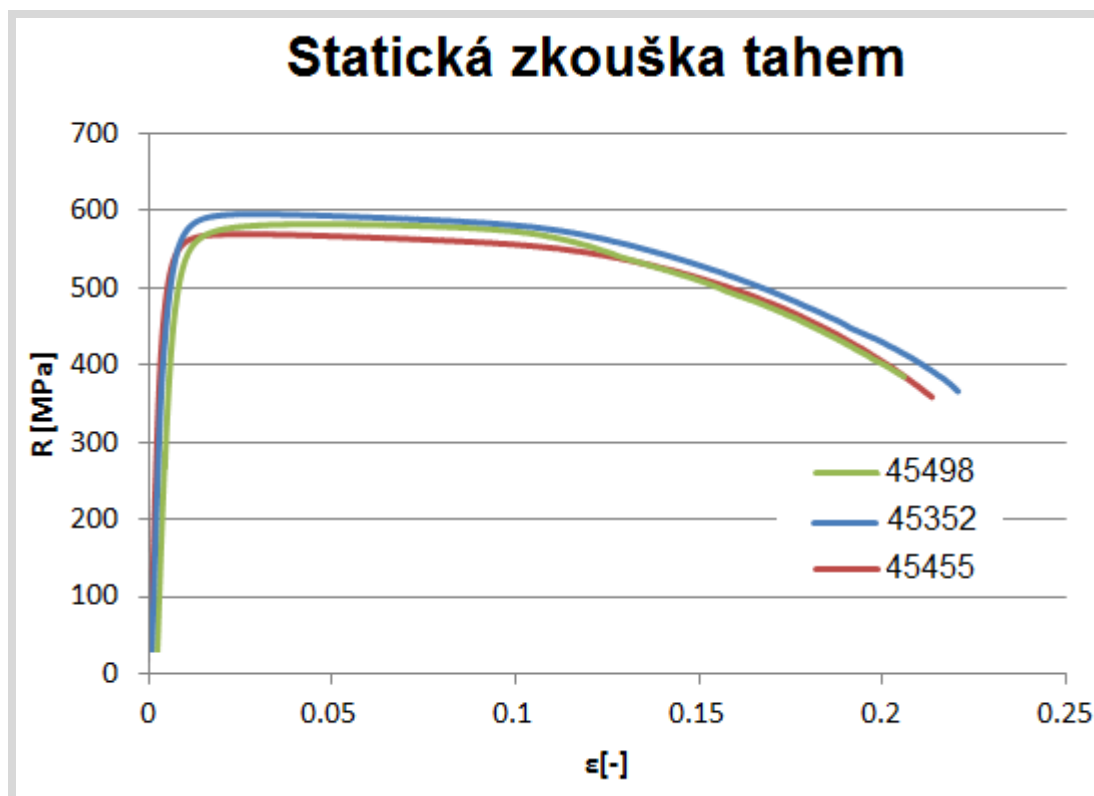
Pro zjištění základních mechanických vlastností zkoumaného materiálu byly zvoleny experimenty tak, aby měly co největší vypovídací hodnotu o daném materiálu a zároveň aby způsob a sled zkoušek neovlivnil naměřené hodnoty. Nejdříve byla provedena statická zkouška jednoosým tahem, při které se zaznamenávaly údaje pro vyhodnocení meze pevnosti R_m , pevnosti $R_{p0,2}$ a tažnosti. Ze zkušebních vzorků se zjišťovaly mikroskopickým měřením údaje pro numerický výpočet kontrakce. Z dodaných postupů výroby šroubů se zhotovily vzorky pro pozorování vnitřní struktury, které se následně využily pro zkoušku tvrdosti. Všechna měření byla provedena pro dodané tři šarže materiálu a měření se opakovala v sériích pro dosažení nejpresnějších výsledků.

3.4.1. Statická zkouška tahem

Jako základní experiment při zkoumání mechanických vlastností materiálů pro výrobu šroubů byla zvolena statická zkouška tahem, která byla provedena v laboratoři KSP TUL na universálním statickém trhačím stroji TIRatest 2300 s tenzometrickou snímací hlavou o rozsahu až 100 kN. Při zkoušce byl použit průtahoměr s vzdáleností rysek $L_0=50$ mm a zvolena rychlost zatěžování 10 mm/min. Zkušební tyč délky 250 mm byla upnuta mezi čelisti trhačího stroje a následně za výše uvedených podmínek namáhána jednoosým tahem až do prasknutí. Z každé zkoušky pro daný materiál byl vyhotoven protokol o měření (viz Příloha 2 – 4).

Pro názornost byly křivky průběhu tahové zkoušky vykresleny do jednoho grafu (Graf 3.1.). Z něj je patrné, že všechny tři průběhy křivek v grafu jsou téměř totožné, lze předpokládat, že zkoumané šarže dosahují stejných či jen málo odlišných mechanických vlastností. Charakter křivek po prudkém rostoucím průběhu a dosažení maximální hodnoty R_m je pozvolna klesající.

Graf 3.1: Vzájemné porovnání zkoušených materiálů při zkoušce tahem



3.4.2. Měření pevnosti

Podle tabulky (Tab. 3.2) je zřejmé, že šarže 45352 dosahuje největší meze pevnosti, experimentálně stanovená hodnota R_m je 596 MPa, což odpovídá charakteristice vysokopevnostního materiálu. Zároveň tato hodnota souhlasí s předpokladem, že s rostoucí pevností v tahu klesá tažnost. Při porovnání s nejpoužívanější obvyčejnou uhlíkovou ocelí 10 340 ($R_m = 340$ MPa) dosáhl zkoušený materiál téměř dvakrát vyšší hodnoty pevnosti v tahu. V globálním měřítku jsou zjištěné rozdíly v naměřených hodnotách pevnosti nepodstatné, lze tedy tvrdit, že z hlediska pevnosti jsou šarže stejné a můžeme předpokládat, že na velké opotřebení nástrojů a jejich kolísavou životnost nemají šarže žádný vliv.

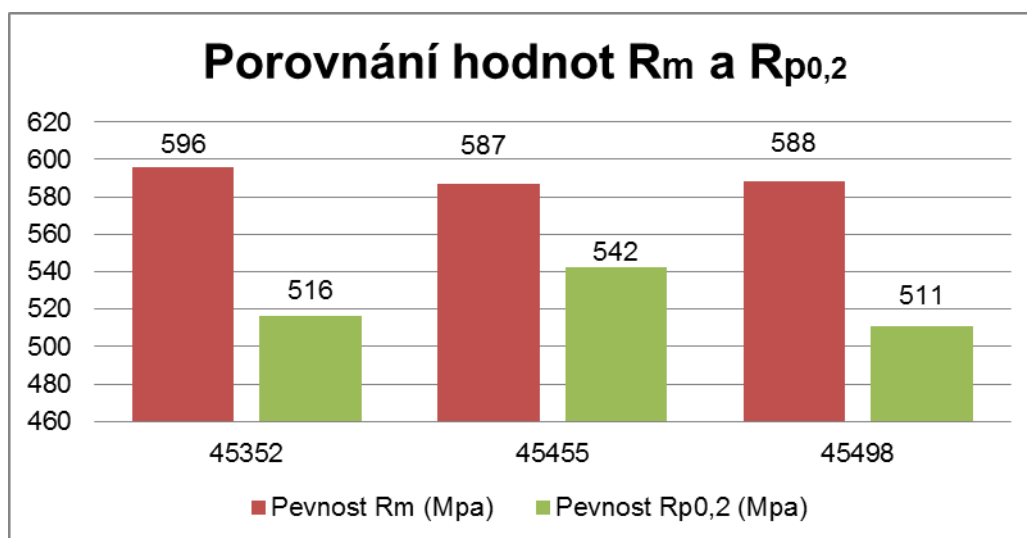
3.4.3. Měření tažnosti

Při zkoušení v laboratoři TUL byl použit průtahoměr s vzdáleností čelistí 50 mm, výsledná tažnost byla tedy označena jako A_{50mm} . Pro zjištění hodnot tažnosti byl využit výpočetní software Labnet, který při provádění statické zkoušky tahem tyto hodnoty počítal a získané výsledky jsou součástí protokolu o zkoušce tahem (viz Příloha 2-4).

Tabulka 3.2: Naměřené průměrné hodnoty pevností a tažnosti

Šarže materiálu	45352	45455	45498
Pevnost R_m [MPa]	595,9	587,1	588,3
Směr. odchylka pro R_m	5,5	2,9	2,4
Pevnost $R_{p0,2}$ [MPa]	516,0	542,3	510,8
Směr. odchylka pro $R_{p0,2}$	10,3	8,0	13,4
Tažnost A_{50} [%]	16,4	20,3	19,6
Směr. odchylka pro A_{50}	2,2	0,5	0,7

Z tabulky (Tab. 3.2) vyplývá, že s rostoucí hodnotou pevnosti v tahu klesá tažnost. Šarže 45455 dosáhla tažnosti lehce přes 20%, což se dá považovat za průměrnou hodnotu a z tohoto hlediska lze hodnotit jako nejlepší ze zkoušených. Naopak šarže 45352 dosáhla průměrné hodnoty pouze 16% a mírně zaostává za ostatními zkoušenými materiály.



Graf 3.2: Porovnání hodnot R_m a $R_{p0,2}$

3.4.4. Měření kontrakce

Pro výpočet kontrakce bylo nutné změřit průměry zkušebních tyčí dle zásad z kap. 2.4.6. Měření proběhlo v sériích opět pro tři šarže materiálu.

Tabulka 3.3: Naměřené hodnoty průměrů zkušebních tyčí [mm] a výsledné kontrakce [%]

	45498	45455	45352
č. měření	ø d [mm]	ø d [mm]	ø d [mm]
1.	5,881	5,729	5,734
2.	5,863	5,676	5,767
3.	5,919	5,685	5,735
4.	5,898	5,742	5,705
5.	5,971	5,911	5,726
6.	5,894	5,825	5,693
7.	5,914	5,848	5,754
8.	6,012	5,829	5,688
9.	5,934	5,703	5,744
10.	5,801	5,754	5,635
11.	5,927	5,757	5,576
12.	5,862	5,733	5,672
průměr [mm]	5,91	5,76	5,70
směr. odchylka	0,05	0,06	0,05
kontrakce	63,01%	64,70%	65,52%

Měření vnitřních průměrů se provádělo na upraveném dílenském mikroskopu propojeném s počítačem, který odečtené hodnoty s přesností na tři desetinná čísla ukládal. Podle vztahů (7), (8), (9) a (10), viz kapitola 2.4.6., se vypočítala hodnota kontrakce pro všechny zkoušené materiály, její hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.3.).

Z tabulky je patrné, že hodnoty kontrakce se pro všechny materiály liší jen velmi málo. Kontrakce kolem 65% je pro vysokopevnostní materiál na výrobu šroubů dostatečný a splňuje požadavky v souladu s normou EN 10263-4.

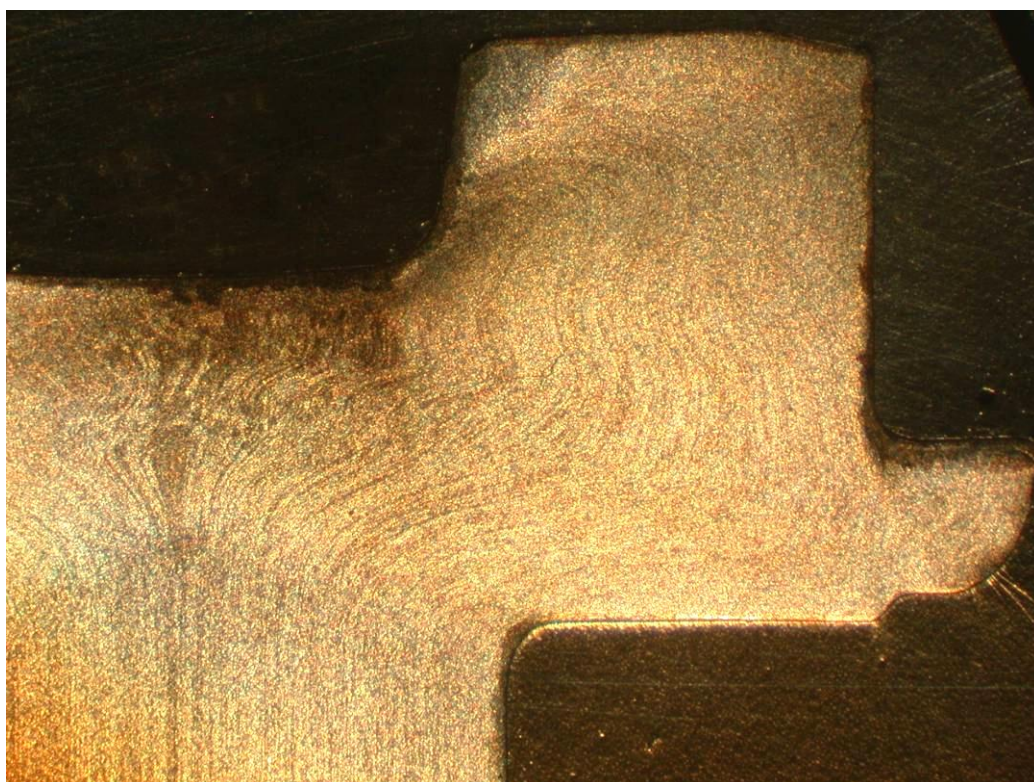
3.4.5. Struktura tvářenců šroubů

Pro zjištění vnitřního uspořádání vláken v jednotlivých postupech (jednotlivých tvářecích operacích) a následné pozorování vnitřní struktury bylo nutné šrouby (postupy) rozřezat. Byl zvolen vertikální řez vedený osou šroubu provedený na kotoučové pile s chlazením. Po vysušení se vzorky pro lepší manipulaci umístily do válcových formiček, označily se a následně zalily dentakrylem. Po vyndání následovalo broušení a leštění vzorků na metalografické brusce Phoenix 4000. Při broušení se postupovalo od hrubých kotoučů (120, 240, 400) až po jemné (600, 800), po vyrovnaní a zahlázení povrchu vzorků se pokračovalo leštěním na plstěném kotouči (1200) s přívodem diamantové pasty pro lepší podmínky procesu. Následně se vzorky naleptaly universálním leptadlem 2% roztoku nitalu. Tímto byly vytvořeny podmínky pro pozorování struktury pod mikroskopem Neophot 21.



Obrázek 3.5: Metalografický mikroskop Neophot 21 [10]

Tímto mikroskopem se pozorovaly jednotlivé vzorky všech tří šarží. Díky naleptání byla velmi dobře viditelná vlákna, zejména u vzorků, které již prošly nějakým stupněm tváření. Toto uspořádání vnitřní struktury ukazuje, jakým směrem probíhá deformace a tok materiálu při tváření, zde při výrobě šroubů protlačováním. Největší zhuštění vláken lze pozorovat u hran vzorku a v místech, kde proběhlo tváření. Ve všech vzorcích bylo pozorováno symetrické uspořádání vláken. Komentáře k jednotlivým pozorovaným jevům v postupech jsou uvedeny v (kap. 3.4.6.1).



Obr. 3.6: Detail hlavy šroubu po naleptání s viditelnými vlákny [vlastní obr.]

Z obrázku 3.6 je patrné, že vlákna jsou orientována k vertikální ose, která je shodná se směrem tváření. Při zkoušení tvrdosti u těchto vzorků se v oblasti zhuštění vláken významně zvyšovala tvrdost (viz 3.4.6.1.).

3.4.6 Měření tvrdosti kovů

Hodnocení tvrdosti bylo provedeno dle Vickerse. Při zkoušení tvrdosti v laboratoři KSP bylo zvoleno zatížení 198 N po dobu 15 sekund, výsledky se proto označí HV20. Měření bylo provedeno na mechanickém tvrdoměru s možností volby zatížení, délky úhlopříček se měřily v softwaru Labnet. CCD, který délky úhlopříček přepočítával na výslednou tvrdost HV20.

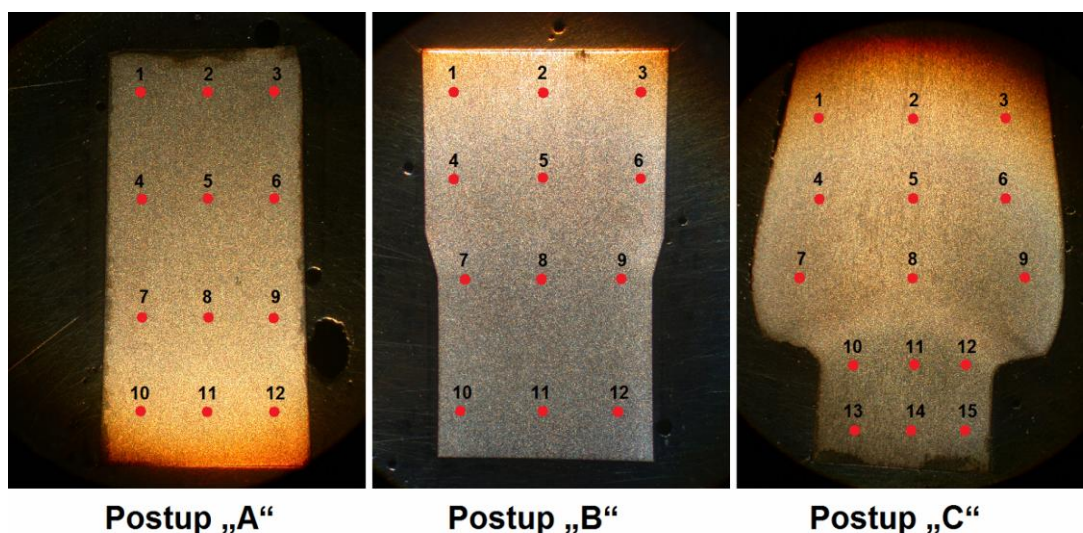
Pro každý vzorek byla provedena série vtisků, aby údaje o tvrdosti HV20 byly co nejpřesnější. Byl dodržen předpis určující minimální vzdálenosti dvou vtisků (3x velikost úhlopříčky) a vzdálenosti od okraje vzorku 2,5x velikosti úhlopříčky. Přesnost zkoušky záleží na mnoha faktorech, mezi nejdůležitější patří hladkost povrchu a homogenita vlastností zkoušeného materiálu.

3.4.6.1 Výsledky naměřených tvrdostí

Při měření tvrdosti podle Vickerse byly využity naleptané vzorky pro pozorování vláken (viz kap. 3.4.5.). Postupy šroubů KX 1691 dodané firmou Kamax s.r.o. Turnov nebyly upraveny žádným tepelným zpracováním, které by mělo velký vliv na tvrdost vzorků. Jednotlivé vzorky postupů všech zkoušených materiálů byly označeny mřížkou, aby byly vtisky na stejných pozicích a bylo možné hodnoty tvrdosti mezi sebou dobře porovnávat. Označení vzorků je shodné s označením naznačeném v obrázcích 3.7 a 3.8. Naměřené hodnoty tvrdosti pro jednotlivé postupy jsou samostatně uvedeny v tabulkách (Příloha 5). V této části jsou komentovány dosažené výsledky. V případě postupu *E* byly zjištěné tvrdosti zapracovány přímo do obrázku pro lepší orientaci a porovnání výsledků s ostatními šaržemi. Postup *E* byl zvolen z důvodu nejvyššího stupně tváření a předpokladu dosažení nejvyšších hodnot tvrdosti. Do výsledků nebyl zařazen postup *F* (šroub s ostříženým přebytečným materiálem), neboť po provedení měření byly výsledky tvrdosti v daných místech totožné s postupem *E*.

Postup A: Tento vzorek je základní polotovar pro šroub, je rozvinut z cívky a posouván do lisu. Toto navinutí na cívku má vliv i na tvrdost drátu, neboť ve všech zkoušených postupech *A* byla vždy na pravé straně zvýšená tvrdost oproti zbytku vzorku až o 5 jednotek HV20 (viz obr. 3.7-postup A, vtisky 3, 6, 9, 12, naměřené tvrdosti viz Příloha 5). Po naleptání 2% roztokem Nitalu ještě nebyla na vzorku *A* okem rozpoznatelná vlákna vnitřní struktury.

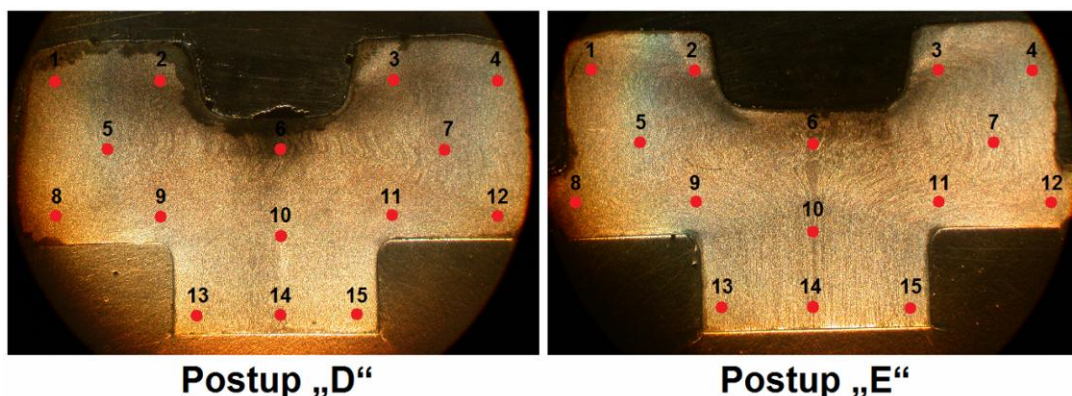
Postup B: U tohoto vzorku se na tvrdosti projevuje mírná deformace způsobená prvním krokem tváření, dochází k mírnému pěchování. Hodnoty tvrdosti jsou symetrické podle vertikální osy, přičemž v ose je tvrdost menší než u krajů. V tvářené oblasti se tvrdost zvyšuje až o 20 jednotek HV20 oproti nedeformované oblasti.



Obr. 3.7: Vzorky pro měření tvrdosti s naznačenými pozicemi vtisků, zleva postup A – polotovár drátu, postup B – první úsek pēchování, postup C – pēchovaná část budoucí hlavy šroubu. Numerické hodnoty jsou uvedeny v tabulkách v Příloze 5. [vlastní obr.]

Postup C: Tento vzorek je pēchovaný a to má vliv na tvrdost, jejíž hodnoty jsou symetrické podle svislé osy šroubu. Hlava je oproti ostatním vzorkům širší a proto jsou v ose hodnoty výrazně menší, shodně o 40 jednotek HV20 u všech materiálů. Tvrdost se zvyšuje ve směru působení síly tvářecího nástroje, ve dříku ale nastává výrazný pokles tvrdosti. U tohoto postupu již lze při bližším prozkoumání pozorovat vlákna způsobená pēchováním materiálu, ve zužující části dochází ke zhuštění vláken.

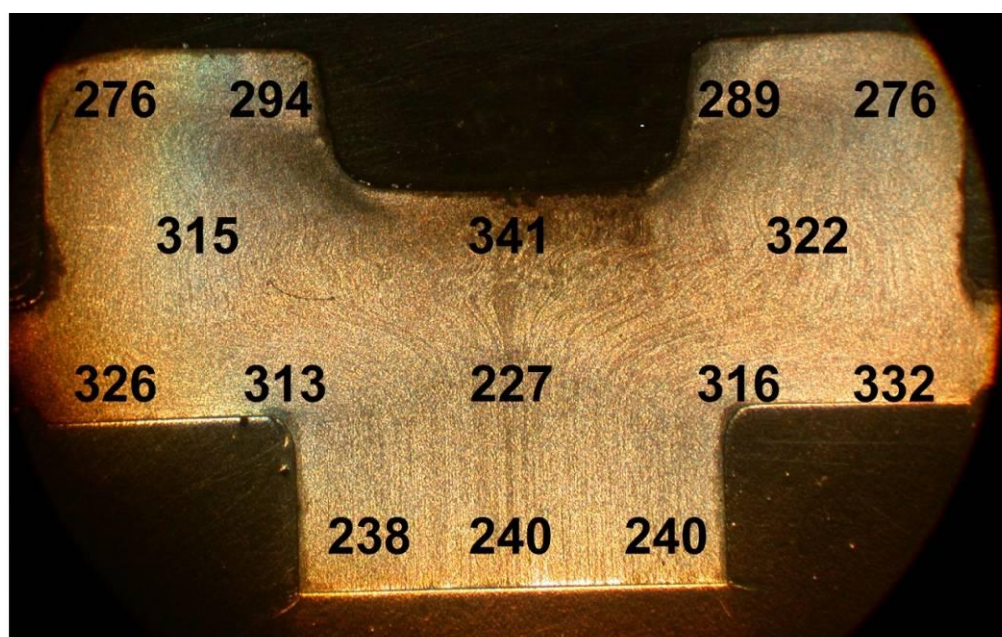
Postup D: Tento vzorek je již tvarově náročný a s rostoucím počtem lisovacích operací rostou hodnoty tvrdosti, které jsou opět symetrické podle svislé osy ve směru působení síly nástroje. Tvrdost se v rámci jednoho vzorku výrazně zvětšuje v oblasti vytvářeného kruhového zapuštění a přesahuje hodnoty 300 HV20. Velký pokles zaznamenáváme v místě uvnitř vzorku, kde je ovlivnění deformací výrazně menší, až o 90 jednotek tvrdosti HV20 a v oblasti dříku s tvrdostí menší o 40-50 jednotek HV20. Vlákna vnitřního uspořádání jsou dobře patrná, dochází k osovému uspořádání vláken a u hran a tvářených částí dochází k výraznému zhuštění.



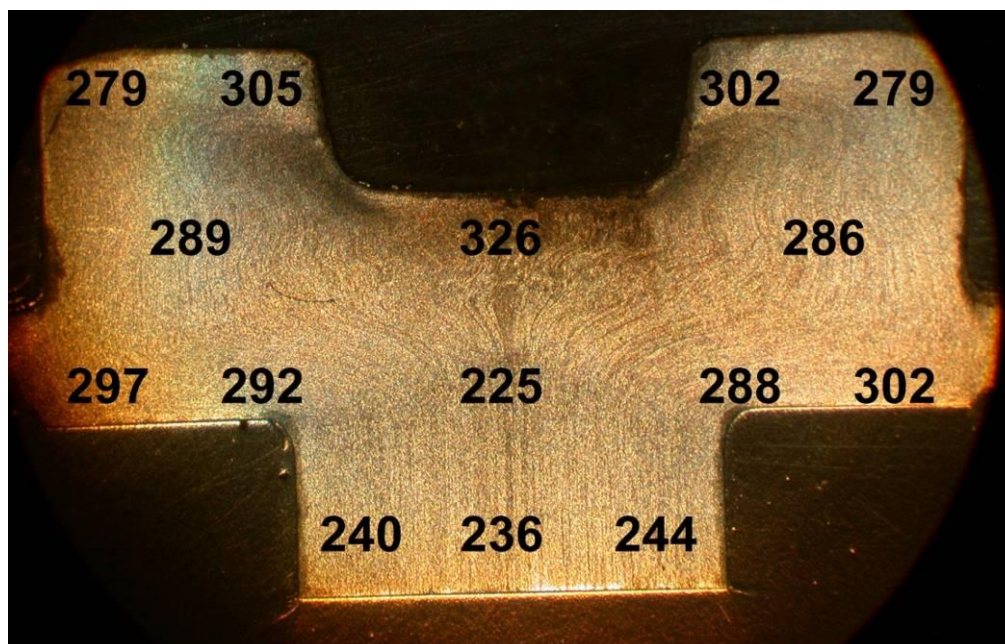
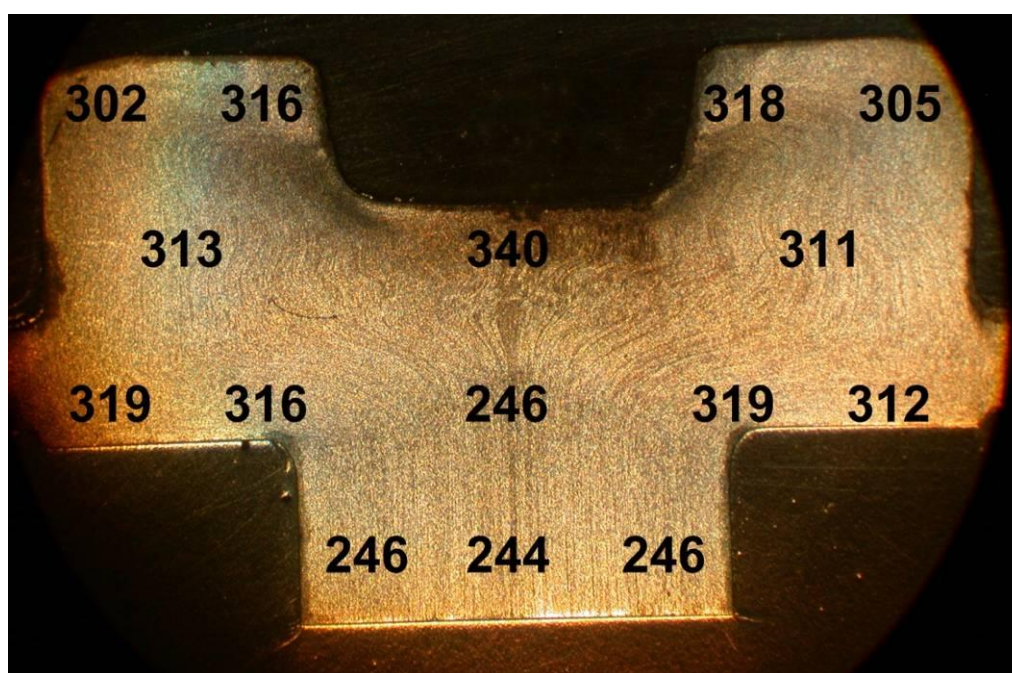
Obr. 3.8: Vzorky pro měření tvrdosti s naznačenými pozicemi vtisků, zleva postup D – protlačený kruhový obrys hlavy, postup E – hlava šroubu s vyraženým šestihranem a přebytkem materiálu. [vlastní obr.]

Postup E: Pro tento postup platí stejné hodnocení jako pro postup D. V tomto postupu se tvaruje šestihranná hlava šroubu a přebytečný materiál se přesune do strany, kde bude následně v dalším kroku ostřížen. Tváření hlavy šroubu, v porovnání s postupem D, tvrdost zvyšuje jen lehce, a to zejména v oblastech příslušejících k tomuto tvarování. Výrazně nižší tvrdost v rámci jednoho vzorku byla naměřena v oblasti dříku a v místě uprostřed bez přímého ovlivnění deformací. Pro lepší porovnání byly hodnoty tvrdosti pro dané oblasti vyznačeny do obrázků (Obr. 3.9).

Obr. 3.9: Postup E s hodnotami tvrdosti pro tři šarže materiálu [vlastní obr.]



45352 - Tvrdosti HV20 - vzorek "E"

**45455 - Tvrdosti HV20 - vzorek "E"****45498 - Tvrdosti HV20 - vzorek "E"**

Z naměřených hodnot tvrdosti je patrné, že v závislosti na tváření se zvyšuje hodnota tvrdosti. Nejtvrdším materiálem v každém postupu byl šarže 45498, naopak celkově nejmenší tvrdost vykazoval šarže 45455. Rozdíl v hodnotách mezi počátečním polotovarem a konečným výrobkem je u všech zkoumaných materiálů více než 100 jednotek tvrdosti HV20.

4. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení vlivu základních mechanických vlastností u tří šarží daného materiálu na zmetkovitost výroby a nadměrné opotřebení nástrojů pro výrobu šroubů pomocí technologie protlačování ve společnosti Kamax s.r.o. Turnov. Hodnocení šarží bylo provedeno v laboratořích KSP TUL, vzorky šarží materiálu 32CrB4 a jednotlivé postupy výroby dodala společnost Kamax s.r.o. Zkoumané postupy šroubů byly vyráběny při stejných technologických podmínkách. Pro zjištění základních mechanických vlastností byla zvolena statická zkouška tahem a zkouška tvrdosti.

Získané hodnoty pevnosti ukazují, že všechny tři zkoušené šarže materiálu dosahují shodně vysokých hodnot, které se blíží horní hranici pevnosti udávané normou a lehce převyšují hodnoty udávané výrobcem. S tím úzce souvisejí i stejné výsledky kontrakce, všechny šarže dosáhly hodnot v rozmezí 63-65 %. Protože také hodnoty tažnosti jsou si velmi blízké (16-20 %), lze tedy předpokládat, že produkty vyrobené z těchto šarží mají z hlediska výroby šroubů stejné mechanické vlastnosti. Při měření tvrdosti byl potvrzen teoretický předpoklad, že s rostoucím stupněm deformace výrazně roste tvrdost. U osových součástí byla míra tvrdosti také osově symetrická. I v tomto ohledu výsledky ukazují, že všechny šarže jsou stejné.

Závěrem lze konstatovat, že vliv na kolísající životnost nástrojů a zmetkovitost výroby není způsobena materiálem pro výrobu tohoto typu šroubu.

Možnou příčinou kolísání životnosti nástrojů z hlediska jejich opotřebení může být úprava povrchu zpracovávaného drátu fosfátováním. Kvalita fosfátových povlaků jednotlivých šarží materiálu, jejich výroba a složení nebylo předmětem hodnocení této práce. Z hlediska materiálu doporučuji dále zhodnotit povrchovou úpravu používaných drátů.

Při zachování podmínek stávající výroby a vyloučení vlivu materiálu šroubu dále doporučuji společnosti Kamax s.r.o. Turnov se zaměřit na zjištění vlivu povrchové úpravy nástroje na jeho životnost, případně na ověření správnosti konstrukce samotného nástroje a jeho materiálové zpracování.

5. Seznam použité literatury

- [1] VELES P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. Bratislava: ALFA, 1989
- [2] LENFELD P.: Technologie II. – 1.část (tváření kovů). Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5
- [3] ROMANOVSKIJ V.P.: Příručka pro lisování za studena. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959
- [4] BRJUCHANOV A.N., REBELSKIJ A.V.: Zápustkové kování II. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956
- [5] BRJUCHANOV A.N., REBELSKIJ A.V.: Zápustkové kování III. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956
- [6] LUDVÍK, Jan, Karel BÍLEK a Štěpán LUDVÍK. Zkoušky tvrdosti: Přehled základních zkušebních metod pro uživatele tvrdoměrů Qness. In: *Metrotest s.r.o. Kladno* [online]. Kladno, 2010. Dostupné z: http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrdosti.pdf
- [7] PEŠÍK L.: Části strojů, 1.díl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-573-0
- [8] Internetové stránky společnosti Kamax. *Kamax s.r.o. Turnov* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.kamax.com/cz/>
- [9] Válcování závitů. Internetové stránky společnosti *Johann Bayer GesmbH.* [online]. 2011. Dostupné z: <http://produktion.bayer-austria.at>
- [10] KSP TUL. *Obrázek metalografického mikroskopu Neophot 21.* 2008. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/ksm/obsah/vyuka/meta/1.jpg>
- [11] Hardness testing of materials. *Suite101* [online]. 2011. Dostupné z: <http://suite101.com/article/hardness-testing-of-materials-a170509>
- [12] TSI SYSTEM. *Obrázek zkoušeného povrchu při Vickersově zkoušce.* 2012. Dostupné z: http://www.tsisystem.cz/img/products/03/03_Mikrotrvdomery/02_Program%20Microness/01_Microness.jpg
- [13] HORÁČEK, Pavel. *Vliv povrchové úpravy nástroje na jeho životnost při výrobě šroubů s označením KX 1691 ve spol. Kamax s.r.o.* Liberec, 2012. Bakalářská práce. TU Liberec.

- [14] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava, 2001. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/texty/uvod_tv2.pdf. Skripta. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava.
- [15] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření* [online]. Brno, 2006. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_3.htm. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně.
- [16] ČMIEL, Karel, Jiří KLIBER a Dušan VÁPENÍK. *Plastomerická simulace termomechanického válcování drátu* [online]. Hradec nad Moravicí, 2002. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_02/papers/158.pdf. Odborná práce. VŠB-TU Ostrava.
- [17] EN 10263-4. *Ocelové dráty válcované, tyče a dráty tažené pro přechování a protlačování za studena: Část 4: Technické dodací podmínky pro oceli ke kalení a popouštění*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [18] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Český normalizační institut, 2010.



6. Seznam příloh

Příloha 1: Materiálový list pro materiál 32CrB4

Příloha 2: Protokol o měření statickou zkouškou tahem – materiál 45352

Příloha 3: Protokol o měření statickou zkouškou tahem – materiál 45455

Příloha 4: Protokol o měření statickou zkouškou tahem – materiál 45498

Příloha 5: Tabulky s hodnotami tvrdostí pro jednotlivé postupy



Příloha 1:

voestalpine Draht Finsterwalde GmbH

Grenzstraße 45, D-03238 Finsterwalde
T: +49(0)3531-786-0 (Vermittlung)
F: +49(0)3531-786-250
e-mail: finsterwalde-draht@voestalpine.com
Sitz der Gesellschaft: Finsterwalde, Amtsgericht: Cottbus HRB162CB, USt-IdNr.: DE138895973
Bankverbindung: Deutsche Bank AG, Kto. 065329900, BLZ 500 700 10
IBAN: DE02 5007 0010 0095 3299 00, BIC: DEUTDEFFXXX
Geschäftsführung: Roland Ruben, Gerhard Seesner

voestalpine Draht Finsterwalde GmbH, Grenzstraße 45, Germany

Kamax S.R.O.
Nudvojovicka 14/74
51101 TURNOV
TSCHJECHISCHE REPUBLIK

Abnahmeprüfzeugnis nach EN 10204 / 3.1
inspection certificate acc. to EN 10204 / 3.1

Finsterwalde, Blatt / sheet
05.06.2012 1 / 1
Ihre Kundennummer / your customer no.
2539427
Belegnummer / certificate no. 5940020406 3

Pos. item	Material / Bezeichnung / Referenz product / description / reference	Stahlmarke grade of steel	Charge heat no.
003	Kaltstauchdraht, ph beseift 9,740 mm, +AC+C Cold heading wire, phos. soaped 9,740 mm, +AC+C Auftrag/order 26878/13/01 Bestellnr./purchase order no. 13917 Abmessung/dimension: 9,740 mm -0,040 mm Ihre Art. Nr./client article no.: D113320974 Norm/Spezifikat./spezification: KN 102 vom 7.6.10+Einschrän. Norm/Spezifikat./spezification: KN 105.02 vom 3.11.05 Gewicht/weight 1.442,000 kg	32CrB4	332478
1 Coils			

Chemische Zusammensetzung in % / chemical composition %													
Schmelzanal.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Mo	V	Sn
ladle analyse	0.3042	0.0662	0.7277	0.0109	0.0082	1.0772	0.0225	0.0220	0.0278	0.0305	0.0037	0.0050	0.0023
Schmelzanal.	B	N	Nb	O	As	Pb							
ladle analyse	0.0037	0.0061	0.0000	0.0037	0.0025	0.0000							

Ergebnis der Prüfungen (=Sollwerte von/bis) / result of tests (=set-point from/to)													
Abm. dimens. [mm]	Rm [N/mm ²]	Z [%]	A [%]	Rp0,2 [N/mm ²]	Rp0,2/Rm [%]	Reinheitsgrad non metallic incl. K2 K3 K4			Korngröße grain size	Einförmig. spheroid. [%]	Abkohlg. decarb. [mm]	CG	PA
9,72	561	68								90	0		
9,73	562	70											

Oberflächenausführung surface quality	Rauigkeit [µm] depth of roughness Rz Ra Rmax	Stauchproben upsetting test	Erschmelzungsart melting process	Walzdrahtlieferant supplier of wire rod	Verwechslungsprfg test mixed-up comp
PHOSPHATIERT, GESEIFT		I.O..		voestalpine Austria Draht GmbH	I.O..

JOMINY Werte/values													
HRC													

Besondere Prüfungen und Bemerkungen / special tests and remarks

Es wird bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht. Das Abnahmeprüfzeugnis hat auch ohne Unterschrift Gültigkeit.
We certify hereby, that the above mentioned products are consistent with the order prescriptions. This certificate is even valid without signature.

Abnahmebeauftragter / quality department: Ines JOHN

voestalpine
EINEN SCHRITT VORAUSS.



Příloha 2:

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

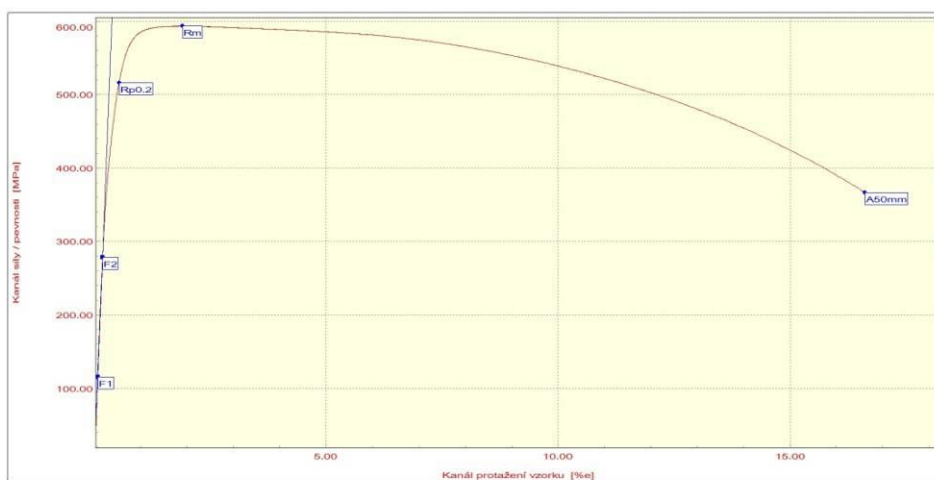
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Kamax_45352
Norma: : ČSN EN ISO 6892-1
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min.
Rozměr vzorku: : Průměr 9,71 mm
Vypracoval: : Pavel Hrdý
Datum zkoušky: : 19. 3. 2012

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1	512.6	599.6	18.96
2	509.1	596.8	12.97
3	508.4	595.1	15.98
4	533.7	604.6	18.05
5	516.1	593.4	16.37

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	516.0	595.9	16.41
Směrodatná odchylka	10.3	5.5	2.22



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



Příloha 3:

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

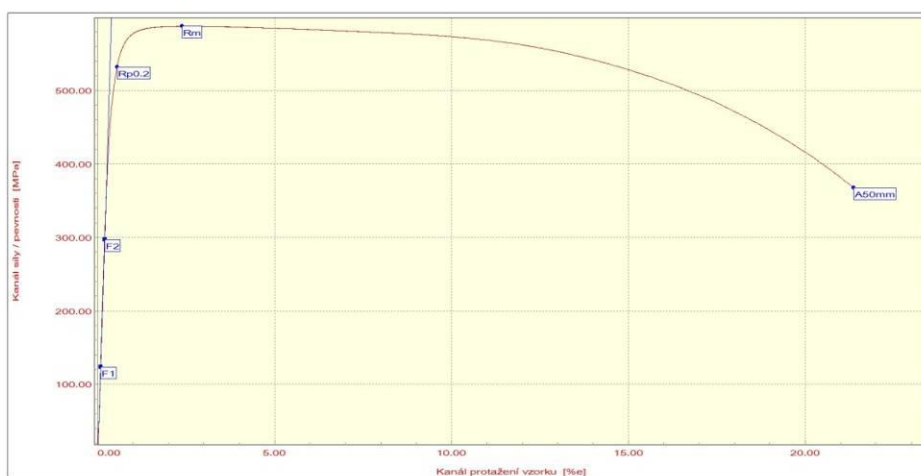
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Kamax_45455
Norma: : ČSN EN ISO 6892-1
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min.
Rozměr vzorku: : Průměr 9,71 mm
Vypracoval: : Pavel Hrdý
Datum zkoušky: : 19. 3. 2012

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1	532.0	587.7	21.13
2	546.6	588.9	20.27
3	540.4	582.9	19.96
4	550.3	588.9	20.03

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
Počet zkoušek	4	4	4
Průměrná hodnota	542.3	587.1	20.35
Směrodatná odchylka	8.0	2.9	0.54



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



Příloha 4:

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

EN ISO 6892-1

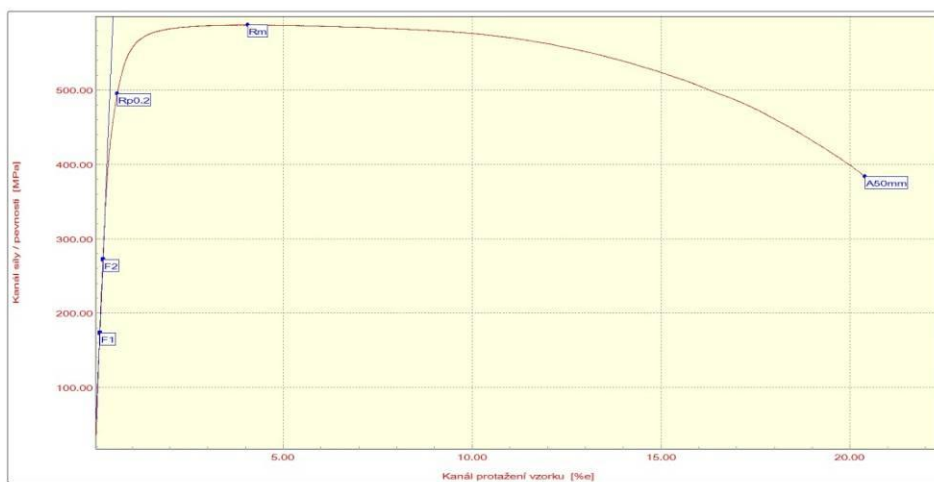
VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: : Kamax_45498
Norma: : ČSN EN ISO 6892-1
Rychlost zatěžování: : 10 mm/min.
Rozměr vzorku: : Průměr 9,71 mm
Vypracoval: : Pavel Hrdý
Datum zkoušky: : 5.4.2012

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
1	495.7	587.8	20.08
2	511.3	591.3	19.11
3	526.1	588.4	20.39
4	508.0	585.6	18.86

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
Počet zkoušek	4	4	4
Průměrná hodnota	510.8	588.3	19.61
Směrodatná odchylka	13.4	2.4	0.74



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



Příloha 5:

Tabulka 6.1: Naměřené průměrné hodnoty vzorku „A“

Vzorek postupu „A“ – Průměrné hodnoty tvrdosti HV20						
Pozice	1	2	3	4	5	6
45352	211	213	216	210	211	215
45455	198	200	205	193	198	202
45498	212	218	221	211	215	216
Pozice	7	8	9	10	11	12
45352	207	213	215	211	213	215
45455	197	200	202	195	199	201
45498	215	213	216	212	213	215

Tabulka 6.2: Naměřené průměrné hodnoty vzorku „B“

Vzorek postupu „B“ – Průměrné hodnoty tvrdosti HV20						
Pozice	1	2	3	4	5	6
45352	213	218	214	213	216	214
45455	207	209	205	208	211	207
45498	216	223	220	220	224	220
Pozice	7	8	9	10	11	12
45352	235	232	236	227	230	227
45455	244	236	242	232	230	231
45498	230	225	229	243	237	240



Tabulka 6.3: Naměřené průměrné hodnoty vzorku „C“

Vzorek postupu „C“ – Průměrné hodnoty tvrdosti HV20					
Pozice	1	2	3	4	5
45352	228	218	221	252	245
45455	206	201	208	230	220
45498	246	240	248	262	266
Pozice	6	7	8	9	10
45352	250	274	272	276	274
45455	232	250	260	250	263
45498	267	284	269	281	267
Pozice	11	12	13	14	15
45352	240	272	248	246	248
45455	215	267	237	236	236
45498	227	267	246	244	246

Tabulka 6.4: Naměřené průměrné hodnoty vzorku „D“

Vzorek postupu „D“ – Průměrné hodnoty tvrdosti HV20					
Pozice	1	2	3	4	5
45352	281	299	302	286	294
45455	284	286	287	284	589
45498	294	308	308	292	302
Pozice	6	7	8	9	10
45352	311	289	302	305	225
45455	313	286	281	291	218
45498	335	302	304	333	211
Pozice	11	12	13	14	15
45352	319	302	235	240	238
45455	286	278	229	236	233
45498	338	302	252	254	250



Tabulka 6.5: Naměřené průměrné hodnoty vzorku „E“

Vzorek postupu „E“ – Průměrné hodnoty tvrdosti HV20					
Pozice	1	2	3	4	5
45352	276	294	289	276	315
45455	279	305	302	279	289
45498	302	316	318	305	313
Pozice	6	7	8	9	10
45352	341	322	326	313	227
45455	326	286	297	292	225
45498	340	311	319	316	246
Pozice	11	12	13	14	15
45352	316	332	238	240	240
45455	288	302	240	236	244
45498	319	312	246	244	246



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 4. 1. 2013

Podpis:



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 4. 1. 2013

Signature: